



EESTI MAAÜLIKOOL
Tehnikainstituut

Evelin Prüüs

**VÕRGUTEENUSE KVALITEEDI ANALÜÜS KESKPINGE
ELEKTRIVÕRGUS**

ANALYSIS OF ELECTRIC NETWORK SERVICE QUALITY IN
THE MEDIUM VOLTAGE POWER GRID

Magistritöö
Energiakasutuse erialal

Juhendaja: dotsent Eugen Kokin, *DSc*

Tartu 2019

Eesti Maaülikool		Magistritöö	
Kreutzwaldi 1, Tartu 51014		lühikokkuvõte	
Autor: Evelin Prüüs		Õppekava: Energiakasutus	
Pealkiri: Võrguteenuse kvaliteedi analüüs keskpinge elektrivõrgus			
Lehekülgi: 52	Jooniseid: 19	Tabeleid: 8	Lisasid: 1
Osakond: Energeetika osakond			
ETIS-e teadusvaldkond ja CERC S-i kood: 4.17. Energeetikaalased uuringud ; T140			
Energeetika			
Juhendaja(d): dotsent Eugen Kokin			
Kaitsmiskoht ja -aasta: 2019 Tartu			
<p>Käesolev magistritöö on koostatud teemal „Võrguteenuse kvaliteedi analüüs keskpinge elektrivõrgus“. Võrguettevõttel on kasutada detailne statistiline andmestik kogu jaotusvõrgu opereerimisinäitajate kohta, kuid uute tehnoloogiate kasutuselevõtuga ning regulatsioonide karmistumisega on oluline analüüsida ettevõtte poolt koostatud arenguplaane ja veenduda nende õigsuses. Töö eesmärgiks on uurida võrguettevõttes teostatavate investeeringute mõju varustuskindluse indeksile SAIDI. Uurimistöös kasutati ühelt poolt pilootprojektide, kus paljasjuhe on asendatud kaetud juhtmega, tulemusi ja teisalt ettevõtte poolt prognoositavaid investeeringumahtusid ning varustuskindluse näitaja SAIDI alanemise prognoose. Andmete töötlemise ja võrdlemise tulemusena tuvastati erinevus SAIDI prognooside ja uuringu tulemuste vahel. Töös tuuakse välja järeldused ning eelkõige soovitusel võrguettevõttele, millega arvestades on viimasel võimalik koostada täpsemaid prognoose ning koostada realistlikumaid investeeringuplaane.</p>			
<p>Märksõnad: Kaetud juhe, SAIDI, katkestused, kavandamine, planeerimine, väliselektrivõrk, keskpinge.</p>			

Estonian University of Life Sciences Kreutzwaldi 1, Tartu 51014		Abstract of Master's Thesis	
Author: Evelin Prüüs		Speciality: Engineering	
Title: Analysis of Electric Network Service Quality in the Medium Voltage Power Grid			
Pages: 52	Figures: 19	Tables: 8	Appendixes: 1
Department: Department of Energy Engineering Field of research and (CERC S) code: 4.17. Energetic Research; T140 Energy research Supervisors: dotsent Eugen Kokin Place and date: 2019 Tartu			
<p>The subject of the Master's Thesis is the “ „Analysis of electric network service quality in the medium voltage power grid.“ Power distribution grid company possesses vast amount of statistical data about the distribution network, but due to the new technologies and tightened legal requirements an additional investigations shall be held in order to be confident in prognosis mady by company. The objective of the thesis is to investigate the impact of the investments to the reliability indicator SAIDI. Analysis is based on results of the pilot projects, where bare conductors were replaced by covered ones, and prognoses of investments as well as decrease of the SAIDI, prepared by the local power distribution network company. As result of data processing and later comparison, difference between company's prognoses regarding SAIDI and results of the investigation was dicovered. Conclusions and recommendations for the grid company are included into the thesis, allowing grid company to prepare more precise prognoses and more realistic investment plans, if needed.</p>			
Keywords: electrical project, reconstruction, power substation, low voltage, high voltage, overhead, underground cable, short-circuit current, voltage drop, grounding.			

SISUKORD

TÄHISED JA LÜHENDID	6
SISSEJUHATUS	7
1. REGULATIIVNE RAAMISTIK	10
1.1. Võrgutegevuse üldregulatsioon	10
1.2. Võrguettevõtja kohustused.....	10
1.2.1. Kohustuste ülevaade	10
1.2.2. Võrguteenuse osutamine.....	10
1.2.3. Võrgu arenduskohustus	11
1.3. Võrgutasude mõjurid	12
1.4. Võrguteenuste kvaliteedinõuded.....	14
1.4.1. Teeninduse nõuded	14
1.4.2. Elektrivarustuse kindluse nõuded.....	14
1.5. Võrgutasu vähendamise tingimused elektrivarustuse kindluse nõuete rikkumise korral	16
1.6. Kokkuvõtte regulatsioonidest	16
2. JAOTUSVÕRGU ÜLEVAADE	17
2.1. Üldist.....	17
2.2. Jaotusvõrgu keskpinge varade jaotuse ülevaade.....	17
2.3. 6–20 kV liinid	18
2.4. Keskpingevõrgu kvaliteet	22
2.5. SAIDI keskpinge elektrivõrgus	26
3. VARUSTUSKINDLUSE KVALITEEDINÄITAJATE ANALÜÜS	29
3.1. Jaotusvõrgu strateegilised eesmärgid.....	29
3.2. SAIDI CEER raport	30
3.3. Varustuskindluse näitaja analüüs.....	33
3.4. Pilootprojektid	33
3.5. Tehnoloogilised lahendused	35
3.5.1. Kaetud juhtme tehnoloogia.....	35
3.5.2. Tehnilised parameetrid	36
3.5.3. Kogemused teistes jaotusvõrkudes	36
3.5.4. Kaetud juhtme paigaldamise mõju kvaliteedinäitajale.....	38
3.6. Investeeringute mahud	38
3.7. Investeeringute mõju varustuskindlusele.....	39
3.8. Tulemused.....	43

3.9. Järeldused ja soovitusel.....	44
KOKKUVÕTE	47
KIRJANDUSE LOETELU.....	49
LISAD	51
Lisa 1. LIHTLITSENTS.....	52

TÄHISED JA LÜHENDID

KP/MP alajaamad – keskpinge/madalpinge alajaamad

KP – keskpinge, 6–20 kV (35 kV käsitletakse üldjuhul eraldi)

MP – madalpinge, 0,22–1 kV

KL – keskpinge maakaabeliin

PJ – keskpinge paljasõhuliin

KJ – keskpinge kaetud juhe

SISSEJUHATUS

Käesolev magistritöö on koostatud teemal „Võrguteenuse kvaliteedi analüüs keskpinge elektrivõrgus“.

Võrguettevõtjale ja tema poolt pakutavale võrguteenusele on määratud Eesti Vabariigi regulatsioonidega kindlad kvaliteedinõuded. Kvaliteedinõudeid liigitatakse järgnevalt: teeninduse nõuded, elektrivarustuse kindluse nõuded ja pingekvaliteedi nõuded. Käesolevas töös keskendume elektrivarustuskindluse nõuetele ja kvaliteedinäitajatele. Elektrivarustuskindluse nõuetes nähakse ette katkestuse korral elektrivarustuse taastamise aeg ning lubatud katkestuste kestus ühe tarbimiskoha kohta aastas. Võrguettevõtjana on antud töös analüüsitud Elektrilevi OÜ-le kuuluva jaotusvõrgu elektrivarustuskindluse näitajaid. Seadusandlikust regulatsioonist tulenevalt on võrguettevõtjale määratud maksimaalsed katkestuste likvideerimise ajavahemikud. Katkestusi jagatakse omakorda põhjusest tulenevalt rikkelisteks või plaanilisteks katkestusteks. [1]

Nii Elektrilevi OÜ oma strateegilistes plaanides kui ka Majandus- ja Kommunikatsiooniministeerium omalt poolt koostatud Energiamaajanduse arengukavas (ENMAK) on välja toonud eesmärgi, mille täitmisel katkestuste arv keskmise tarbimiskoha kohta jaotusvõrgus väheneks 2–3 korda. [2]

Sihteesmärgiks on seatud varustuskindluse näitaja $SAIDI_{kogu}$ viia tasemele 90 minutit 2030. aastaks. Uuringu „*Analysis of investment budget for quality target $SAIDI_{total}$ 90 by 2030*” puhul, mis telliti 2017. aastal, on tegemist uurimustööga, milles analüüsiti $SAIDI_{kogu}$ viimist soovitud 90 minuti tasemele ning muuhulgas toodi tulemustena välja sellise eesmärgi täitmiseks vajalikud meetmed. Uuringus on toonitatud jaotusvõrgu uuendamise vajadust, täpsemalt tuleb uuendada vara, mis on üle oma normaalelua ning põhjustab elektrivõrgus rikkeid. Samuti on jõutud järeldusele, et rikete vähendamiseks on vajalik uute tehnoloogiate kasutusele võtmine. Üheks neist on ilmastikukindlama kaetud juhtme kasutamine madal- ja keskpinge võrgus. [3]

Avaldatud uuringu käigus analüüsiti küll võrgu uuendamisega kaasnevat mõju rikest sõltuvale *SAIDI*-le, kuid jäeti vaatluse alt välja keskpinge võrgus kaetud juhtme kasutuselevõttuga kaasnev mõju plaanilisele *SAIDI*-le.

Ajal, kus uute tehnoloogiate kasutuselevõttuga saavutatakse tähelepanuväärseid tulemusi nii töökindluse, tarbijamugavuse kui ka ohutuse vallas, on oluline veenduda selliste tehnoloogiate otstarbekuses ning kõikvõimalikes mõjudes olemasolevale olukorrale. Varustuskindluse indeks *SAIDI*_{plaaniline} on üks näitajatest, mille muutus mõjutab tarbijat igapäevaselt, seega on käesoleva uuringu tulemused vajalikud elektrienergia tarbijatele laiemalt. Jaotusvõrgu ettevõtet huvitab kaheldamatult kindlustunne valitud tehnoloogia õigsuses ning võimalikud kõrvalmõjud, millega arvestada sellise tehnoloogia elluviimisel.

Uued tehnoloogiad, siinkohal kaetud juhtme kasutuselevõtt, genereerib uusi uurimisteemasid, mis on aktuaalsed just täna, selliste tehnoloogiate rakendamisel.

Töö põhiliseks eesmärgiks on uurida võrguettevõttes teostatavate investeeringute mõju varustuskindluse indeksile *SAIDI*.

Kas ambitsioonikas plaan vähendada lähiaastatel varustuskindluse indeksit *SAIDI* soovitud tasemele on realistlik või peidab see endas hetkel tuvastamata riske, mis realiseerumisel muudavad plaani ebarealistlikuks, on küsimus, millele uurimistöö peab andma vastuse.

Uurimisprobleemi lahendamiseks leitakse muuhulgas vastused järgmistele küsimustele ja lahendatakse vastavad uurimisülesanded, nagu:

1. Kaetud juhtme asendamine paljasjuhtme vastu on üks eelistatud meetmeid *SAIDI* vähendamiseks. Tõestatakse sellise väite põhjendatus teiste maade kogemuse ja pilootprojektide tulemuste varal.
2. Teostatud on esimesed kaetud juhtme asendamise pilootprojektid. Pilootprojektide tulemuste alusel arvutatakse välja investeeringukavade alusel kaetud juhtme projektide mõju kogu jaotusvõrgu *SAIDI*-le.
3. Analüüsides jaotusvõrgu statistilisi andmeid ning kaetud juhtme pilootprojektide mõju *SAIDI*-le, eraldatakse *SAIDI*_{kogu} mõjust *SAIDI*_{plaaniline} ja *SAIDI*_{rikkeline}.

4. Võttes aluseks eelnevates punktis saadud prognoositav *SAIDI*_{plaaniline}, võrreldakse saadud tulemust plaanides, arengukavades ning õigusaktides kavandatavate näitajatega ning tuuakse välja vastavus või mittevastavus.

Uurimistöö on üles ehitatud järgnevalt:

1. Esimeses etapis kirjeldatakse ja uuritakse võrguteenuse üldregulatsiooni ja võrguettevõtja kohustusi. Vaadeldakse millistel tingimustel on võrguettevõtjal kohustus vähendada võrgutasusid ja mida tähendab see võrguettevõtjale. Keskendutakse põhiliselt regulatsioonidele, mis puudutavad otseselt võrguettevõtjale määratud elektrivõrgu teenusele ettenähtud kvaliteedi nõudeid.
2. Teises etapis tuuakse välja keskpinge elektrivõrgu hetke olukord. Keskendutakse põhiliselt keskpinge elektrivõrgu vara kooslusele, rikkelisusele, varustuskindluse piirkondadele, liinide uuendamisvajadusele. Uuritakse antud tingimuste mõju üldistatud kvaliteedi näitajatele. Võrreldakse Eesti jaotusvõrgu üldistatud kvaliteedi näitajaid teiste Euroopa jaotusvõrkudega.
3. Uuritakse tulevaste suuremate investeeringute mõju elektrivõrgu kvaliteedi näitajatele. Uurimistöö käigus analüüsitakse 2018. aastal ehitatud kaetud juhtme paigaldamise pilootprojekte ning püütakse vastavaid tulemusi korreleerida tulevaste aastate investeeringuprojektidesse. Jaotusvõrgu investeeringu maht näeb aastatel 2019–2022 ette keskpingevõrgus kuni 520 liinikilomeetri paljasõhuliini asendamist ilmastikukindla kaetud juhtmega.

Uurimistööks vajalikud algmaterjalid on kogutud avalikest allikatest, sh Elektrilevi OÜ kodulehelt, lisaks on kasutatud jaotusvõrgu ettevõtja Elektrilevi poolt kättesaadavaks tehtud statistilist informatsiooni varade, rikete ja investeeringute kohta. Töö autor tänab kõiki Elektrilevi töötajaid, kes aitasid kaasa uurimustöö valmimisele.

1. REGULATIIVNE RAAMISTIK

1.1. Võrgutegevuse üldregulatsioon

Vastavalt *Elektrituruseadusele* on elektriettevõtja tootja, võrguettevõtja, liinivaldaja ja müüja. Võrguettevõtjaks loetakse elektriettevõtjat, kes osutab võrguteenust võrgu kaudu. Antud töö kontekstis vaatleme elektriettevõtjat, kui jaotusvõrguettevõtjat, kes osutab võrguteenust jaotusvõrgu kaudu. [1]

Jaotusvõrguettevõtja tegevuspiirkonnas võib võrku ehitada ja võrguteenuseid osutada ainult see jaotusvõrguettevõtja, kes omab tegevusluba antud piirkonnas. Seadusest tulenevalt ei tohi jaotusvõrguettevõtjate teeninduspiirkonnad kattuda. [1]

1.2. Võrguettevõtja kohustused

1.2.1. Kohustuste ülevaade

Võrguettevõtja kohustused jagunevad järgnevalt: võrguteenuse osutamine, võrgu arenduskohustus, mõõtmine, elektrienergia ja võrguteenuse ebaseaduslik kasutamine, konfidentsiaalsusnõue, teabe andmise kohustus, võrgutaristu kasutusse andmise kohustus. Antud töö raames keskendume olulisematele kohustustele, milleks on võrguteenuse osutamine ja võrgu arenduskohustus. [1]

1.2.2. Võrguteenuse osutamine

Võrguettevõtja kohustuseks on osutada oma teeninduspiirkonnas võrguteenuseid tarbijatele, tootjatele, liinivaldajatele ja võrguettevõtjatele. Võrguteenuste all mõistetakse alljärgnevaid peamisi teenuseid: 1) taotluste alusel liitumispunktide ühendamine võrguga, 2) tarbimis- või tootmistingimuste muutmine, 3) liitumispunktis võrguühenduse kasutamise võimaldamine, 4) elektrienergia edastamine liitumispunktini, 5) mõõteseadmete paigaldamine ja

elektrienergia koguste määramine, 6) mõõteandmete kogumine ja töötlemine 7) võrguteenusega otseselt seotud lisateenused. Võrguteenuse osutamisel on võrguettevõtja kohutus jälgida, et turuosalistele võrguteenuse osutamisega oleks tagatud võrdse kohtlemise printsiip. [1]

1.2.3. Võrgu arenduskohustus

Tulenevalt *Elektrituruseadusest* on võrguettevõtja kohustatud tegelema oma elektrivõrgu arendamisega. Seadusest tulenev nõue ning seega seaduse mõte on tasakaalustada vastavas jaotusvõrgus monopoolses seisundis oleva võrguettevõtja õigusi ja võimalusi teiselt poolt kohustustega. Selline tasakaalustamine arenduskohustuse näol väldib olukorda, kus võrguettevõtja kasutab ära varade ressursi ilma neid uuendamata. Kuivõrd elektrienergia jaotamine ning laiemalt elektrienergia kättesaadavus on peale tehniliste võimaluse loomise lisaks ka sotsiaalmajanduslikult vajalik avalik teenus, siis on selline lähenemine ainuõige. [1]

Võrgu arendamiskohustus võrguettevõtjale on mitmes osas reglementeeritud ja piiritletud *Elektrituruseaduse* ja viimasega seotud alamastme õigusaktidega, nt konkreetseid indikaatoreid piiritlevate määrustega. Arendustegevuse konkreetne määratlemine on vajalik selleks, et oleks tagatud jaotusvõrgu igakülgne arendamine, parandamine ja uuendamise moel, et oleks tagatud kõikide vastavas jaotusvõrgus tegutsevate, eelduslikult juba jaotusvõrguga ühendatud aga ka ühendamissooviga, turuosaliste vajadused ja nõudlus. [1]

Turuosalisteks on eelkõige tarbijad, tootjad, liinivaldajad ja teised võrguettevõtjad. Turuosaliste vajadusteks ja ootusteks on üldistatuna kvaliteetse elektrienergia kättesaadavus, mis jaguneb kitsamalt järgmisteks kriteeriumideks, nagu elektrienergia kvaliteet, ühendusvõimsuste muutmise võimalikkus, varustuskindlus, liitumise võimalikkus ja ajaline periood. [1]

Oluline on aru saada, et võrguettevõtja peab oma võrku arendama parimal võimalikul moel, sest monopoolses seisundis olev ettevõtte allub reeglina regulaatorkontrollile, mis peab välistama võrguettevõtja hoolimatu suhtumise parimate lahenduste leidmisel ning õigete otsuste tegemisel. Viimase põhimõtte eiramine avaldab otsest mõju ettevõtte kulutustele ning sedakaudu ka elektrienergia jaotuvõrgu ettevõtte puhul elektrienergia edastamise

tariifidele. Regulaatori kohustuseks on eelkõige kaitsta tarbijate huve ning üheks olulisemaks alalõiguks tarbijate kaitsel on kontroll tariifide üle. Samaväärselt peab regulaator kontrollima, et oleks tagatud jaotusvõrgu eksistents absoluutses mõttes, mis reaalses tegevustes tähendabki võrgu arenduskohustust. [1]

Eesti Vabariigiks on selliseks regulaatoriks Konkurentsiamet. Meetodite hulgas, kuidas Konkurentsiamet võrguettevõtjat kontrollib, on esmajärjekorras nõutav aruandlus võrguettevõtjalt, milles viimane peab üksikasjalikult ära tooma informatsiooni, mille järgi saab otsustada jaotusvõrgu hetkeolukorra ja tulevaste arengute üle. Märksõnadeks on jaotusvõrgu tarbimisvõimsuse prognoosid aastate lõikes ning ettevõtja kava vastava nõudluse rahuldamiseks. [1]

Konkurentsiametil on õigus seada kahtluse alla võrguettevõtja kava koos vastavate põhjenduste ja eeldustega, nõudes kas täiendavaid selgitusi, tehes seaduse piires ettekirjutusi või muutes tegevusluba. [1]

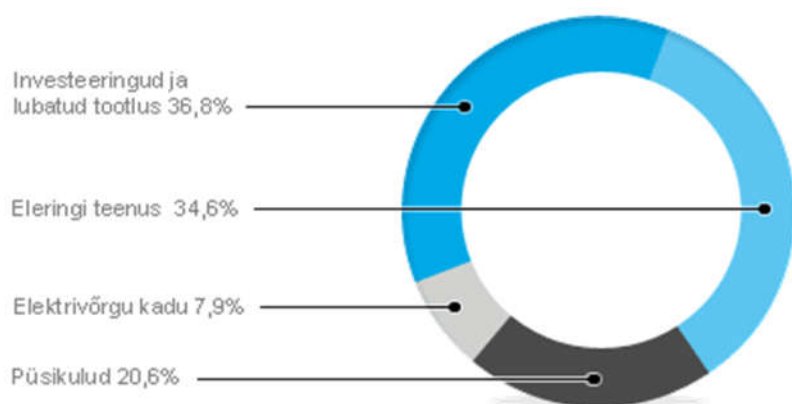
Kokkuvõtvalt võib öelda, et võrguettevõtja on seaduse kohaselt kohustatud tegelema võrguarendusega.

1.3. Võrgutasude mõjurid

Vastavalt *Elektrituruseadusele* on võrguteenus osutaval võrguettevõtjal õigus võtta võrgutasu: sealhulgas liitumistasu, tarbimis- või tootmistingimuste muutmistasu, võrguühenduse kasutamise tasu, elektrienergia edastamise tasu, lisateenuste tasu ja tasu võrgust võetava ja võrku antava reaktiivenergia eest. Võrgutasud kehtestab oma teeninduspiirkonnas võrguettevõtja kusjuures tasud peavad olema kooskõlas seadusega ja õigusaktidega. Võrgutasude määramine põhineb kahel põhilisel printsiibil: tasude määramine peab olema läbipaistev ja toimuma võrdsetel alustel. Võrgutasude muutmine ja metoodika tuleb kooskõlastada Konkurentsiametiga. [1]

Võrgutasu sisaldab elektrivõrgu töökindlust tagavate investeeringute ning hooldus- ja remonditööde kulusid. Võrguteenus tähendab valmisoleku tagamist elektri edastamiseks või tarbimiseks ning selleks vajaliku taristu ülalhoidmist, samuti elektri transporti tarbimiskohani. [4]

Võrgutasu kujunemist iseloomustab järgmine diagramm, mis on kujutatud joonisel 1.1.



Joonis 1.1. Võrgutasude kujunemine. [4]

Jooniselt on näha, et investeeringute ja lubatud tootluse komponendi osakaal on võrgutasu moodustumisel üks suuremaid. *Elektrituruseaduse* § 71. [Võrgutasud] lõige (5) punktid 2 ja 4 sätestavad, et võrgutasud tuleb kujundada selliselt, et järjepidevalt oleks muuhulgas tagatud investeeringud tegevus- ja arenduskohustuse täitmiseks ja kvaliteedi- ja ohutusnõuete täitmine. Seega on võrguettevõtjal õigus läbi tariifide koguda rahalisi vahendeid vastavate ülesannete täitmiseks. [1]

Täiendav seos ühelt poolt võrgutasude ja teiselt poolt varustuskindluse ja kvaliteedi poolt on viimaste mittetäitmise eest ettenähtud sanktsioonid. Vastavalt ELTS § 101¹ on võrguettevõtjat võimalik karistada rahatrahviga kuni 300 trahviühikut juhul, kui võrguettevõtja on oma teeninduspiirkonnas rikkunud võrguteenuste osutamise kvaliteedinõudeid või ei ole selliste rikkumiste puhul vähendanud võrgutasusid kui võrgutasude vähendamine on käesoleva seadusega ette nähtud. Vastav mõjutusvahend toimib võrguettevõtja motivaatorina tagada võrguteenuse kvaliteet ja varustuskindlus. [1]

1.4. Võrguteenuste kvaliteedinõuded

1.4.1. Teeninduse nõuded

Teeninduse ettenähtud nõuded väljenduvad kindlates teenuse osutamiseks vajalikes toimingutes ja toiminguteks ettenähtud aegades. Antud numbrilised suurused on toodud tabelis 1.1. [5]

Tabel. 1.1. Teenindusnõuded [5]

Toiming		Toimingu tegemise tähtaeg
Jaotusvõrgu teeninduspiirkonnas		
Taaspingestamine pärast teenuse osutamise eest tekkinud maksevõla tasumist	kui elektrikatkestus (edaspidi katkestus) elektrivõrgus ei ole vajalik	5 tööpäeva jooksul pärast taaspingestamise teenustasu laekumist
	kui katkestus elektrivõrgus on vajalik	8 tööpäeva jooksul pärast taaspingestamise teenustasu laekumist
Turuosalise tarbimiskoha ülevaatus mõõtmisega seotud probleemide lahendamiseks		5 tööpäeva jooksul pärast turuosalise taotluse saamist
Tasusid ja makseid käsitlevatele päringutele vastamine		5 tööpäeva jooksul alates päringu saamisest
Võrguühenduse katkestamine turuosalise soovil	kui katkestus elektrivõrgus ei ole vajalik	5 tööpäeva jooksul pärast turuosalise taotluse saamist
	kui katkestus elektrivõrgus on vajalik	8 tööpäeva jooksul pärast turuosalise taotluse saamist
Mõõteseadme vahetus või kohandamine asjaomastele hindadele turuosalise soovil		7 tööpäeva jooksul pärast turuosalise taotluse saamist
Asjaomasele turuosalisele plaanilisest katkestusest etteteatamine		Vähemalt 2 päeva enne plaanilist katkestust

1.4.2. Elektrivarustuse kindluse nõuded

Rahvusvaheliselt on kokkuleppelised võrguteenuse kvaliteeti iseloomustavad varustuskindluse näitajad järgmised: katkestuste keskmine sagedus tarbimiskoha kohta aastas (*SAIFI*), katkestuse keskmine kestus tarbimiskoha kohta aastas (*SAIDI*) ja katkestuse keskmine kestus võrguettevõtja kohta aastas (*CAIDI*). [5]

Katkestuste keskmine sagedus tarbimiskoha kohta aastas (*SAIFI*) arvutatakse järgmise valemi alusel [5]:

$$f = \frac{\sum_{k=1}^m n_k}{N}, \quad (1.1)$$

kus n_k – katkestuse tõttu elektrienergiata jäänud tarbimiskohtade arv;

m – tarbimiskoha katkestuste arv aastas;

N – tarbimiskohtade koguarv.

Katkestuse keskmine kestus tarbimiskoha kohta aastas (*SAIDI*) arvutatakse järgmise valemi alusel [5]:

$$t = \frac{\sum_{k=1}^m d_k \cdot n_k}{N}, \quad (1.2)$$

kus n_k – katkestuse tõttu elektrienergiata jäänud tarbimiskohtade arv;

d_k – tarbimiskoha katkestuse kestus minutites;

m – tarbimiskoha katkestuste arv aastas;

N – tarbimiskohtade koguarv.

Katkestuse keskmine kestus võrguettevõtja kohta aastas (*CAIDI*) arvutatakse järgmise valemi alusel [1]:

$$d = \frac{\sum_{k=1}^m d_k \cdot n_k}{\sum_{k=1}^m n_k}, \quad (1.3)$$

kus n_k – katkestuse tõttu elektrienergiata jäänud tarbimiskohtade arv;

d_k – tarbimiskoha katkestuse kestus minutites;

m – tarbimiskoha katkestuste arv aastas.

1.5. Võrgutasu vähendamise tingimused elektrivarustuse kindluse nõuete rikkumise korral

Vastavalt Eesti Vabariigi määrusele „Võrguteenuste kvaliteedinõuded ja võrgutasude vähendamise tingimused kvaliteedinõuete rikkumise korral“ vähendatakse turuosalistel kalendrikuu võrgutasu elektrivarustuse kindluse nõuete rikkumise korral. Määruses on fikseeritud kindlad minimaalsed võrgutasu vähendamise määrad, mis sõltuvad pingeklassist, peakaitsme suurusel, katkestuse kõrvaldamise kestusest. [5]

Tabel 1.2. Elektrivarustus kindluse nõuete rikkumise korral võrgutasude vähendamise määrad [5]

Pingeklass	Peakaitsme suurus	48 h	48–96 h	< 96 h
madalpinge	> 63 A	7,99 €	15,98 €	23,97 €
madalpinge	< 63 A	0,13 €/A	0,26 €/A	0,38 €/A
keskpinge (6-35 kV)	–	0,77 €/kW*	1,53 €/kW*	2,3 €/kW*

Märkus: * Eurot võrguühenduse kasutusvõimsuse kilovati kohta. Seisuga 15.04.2019

Võrgutasu vähendamine on seotud elektrivarustuse kindluste kahe tingimuse rikkumisega, millega kaasneb turuosaliste võrgutasu vähendamine järgmise kalendriaasta esimese kolme kuu jooksul summa võrra, mis ei tohi olla väiksem, kui tabelis 1.2 toodud väärtused. [5]

Vastavad elektrivarustus kindluse tingimused on [5]:

1. Otseselt rikest põhjustatud katkestuste kestus ei või olla ühe tarbimiskoha kohta rohkem kui 70 tundi aastas;
2. Plaaniliste katkestuste kestus ühe tarbimiskoha kohta ei või olla rohkem kui 64 tundi aastas, välja arvatud juhul, kui ei ole tarbimiskoha suhtes eraldi kokkulepet.

1.6. Kokkuvõtte regulatsioonidest

Ülaltoodud regulatsioonidest tulenevalt kannab jaotusvõrguettevõtja iga katkestusega, mis on pikem, kui seadusega ette nähtud, kahju nii otseselt võrgutasude tõttu kui ka tulenevalt müümata jäänud elektrienergiast.

2. JAOTUSVÕRGU ÜLEVAADE

2.1. Üldist

Uurimustöös on välja toodud keskpinge elektrivõrgu vara kooslus ja jagunemine. Uuritud on erinevate varagruppide vanuselisust ja varustuskindluse piirkondade mõju kvaliteedi näitajatele. Samas on välja toodud keskpinge elektrivõrgu rikete tekkimise peamised põhjused ning lisaks on näidatud ka põhilised katkestuste tüübid.

Kirjeldatud jaotusvõrguettevõtja ja Majandus- ja Kommunikatsiooniministeeriumi strateegilisi eesmärke ja sihteesmärgi teostamisega kaasnevaid kõrvalmõjusid kvaliteedi näitajatele.

Uuritakse ja võrreldakse Eesti jaotusvõrguettevõtja ja teiste Euroopa riikide üldistatud võrgu kvaliteedi näitajaid.

2.2. Jaotusvõrgu keskpinge varade jaotuse ülevaade

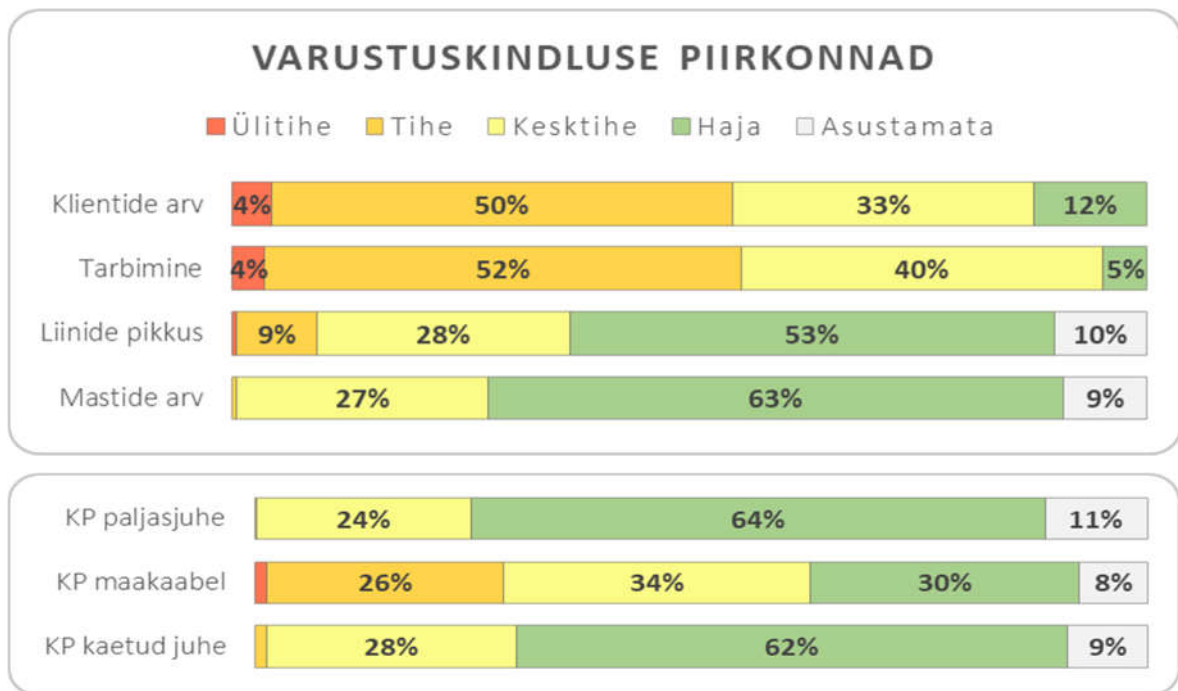
Keskpinge varade koosseisu kuuluvad 6–20 kV liinid, keskpinge-madalpinge alajaamad koos madalpinge elektriseadmetega, jaotusalajaamad ja 6–20kV elektriseadmed väljaspool piirkonnaalajaamu. Keskpingevõrgu vara jaotatakse samal ajal ka varustuskindluse piirkondade lõikes. Varustuskindluse piirkondadeks on „ülitihe“, „tihe“, „kesktihe“ ja „haja“. Tabelis 2.1 on välja toodud keskpinge varagruppide hetke mahud.

Tabel 2.1. Keskpinge varagrupi mahud [6]

Vara	Ühik	Keskpinge varagrupi mahud 01.01.2019 seisuga
Jaotusalajaamad	tk	220
Keskpinge-madalpinge alajaamad	tk	23 657
Keskpinge/madalpinge trafod*	tk	27 148
Õhuliinid (paljasjuhe) 6–20 kV	km	15 476
Kaetud juhtmega õhuliinid 6–20 kV	km	1 374
Maakaabelliinid 6–20 kV	km	8 118

Märkus. * sh omatarbetrafod

Keskpinge elektrivõrgus uusi õhuliine reeglina ei ehitata, vaid olemasolevad õhuliinid rekonstrueeritakse 20 kV nimipingega kaetud juhtmega õhuliinideks, võimaldamaks hiljem võrgupinget piirkonniti nimetatud nimipingeni tõsta. Joonisel 2.1 on välja toodud erinevate varustuskindluse piirkondade lõikes klientide, tarbimiste ja varade jagunemine.



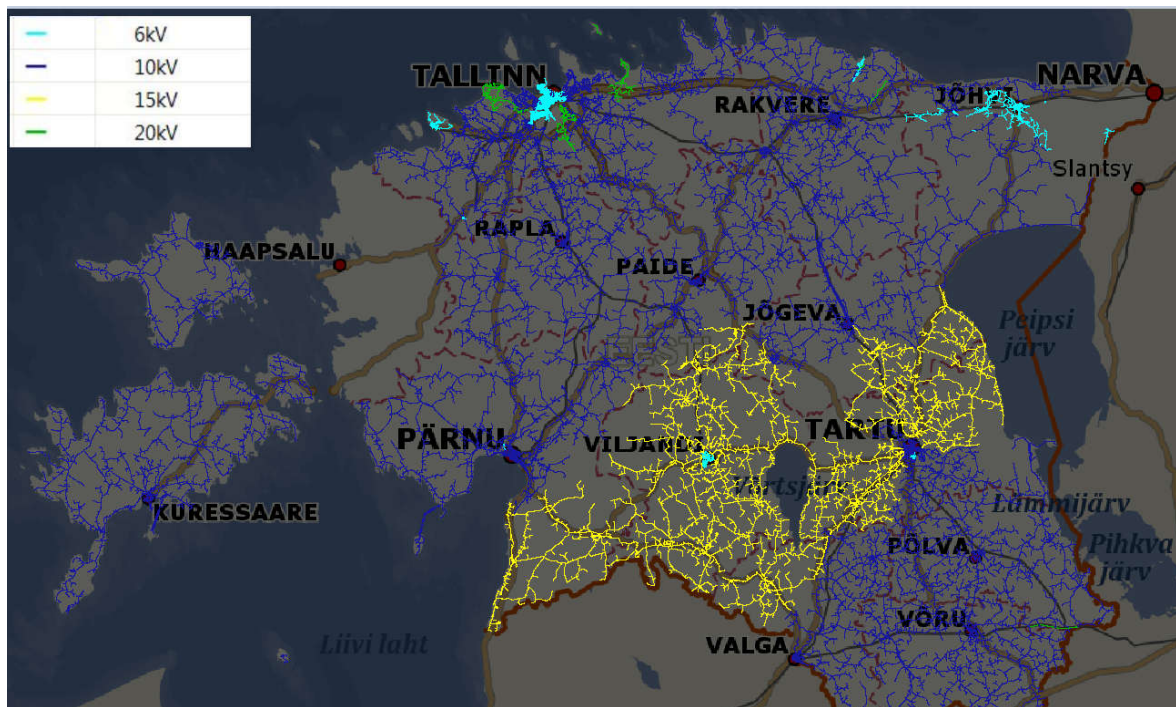
Joonis 2.1. Keskpinge varagruppide jagunemine varustuskindluse piirkondade järgi. [6]

Klientide jagunemine elektrivõrgus vastavalt varustuskindluse piirkonnale: 54 % klientidest jääb ülitihe ja tihe piirkonda ning ligikaudu 45% klientidest kesktihe ja haja varustuskindluse piirkonda. Enamus paljas- ja kaetud juhtmega õhuliinidest on just kesktihe ja haja varustuskindluse piirkonnas.

2.3. 6–20 kV liinid

Jaotusvõrgu keskpinge võrgus on kasutusel neli erinevat pingeastet: 6 kV, 10 kV, 15 kV ja 20 kV. Liinide kogupikkuselt on enim kasutusel 10 kV võrk. Perspektiivselt on ette nähtud, et pikemate vahekauguste ja suuremate võimsusvoogude korral kujuneb haja ja kesktihe varustuskindluse piirkondades pingeastmeks 20 kV. Vastavalt võrgu planeerimise

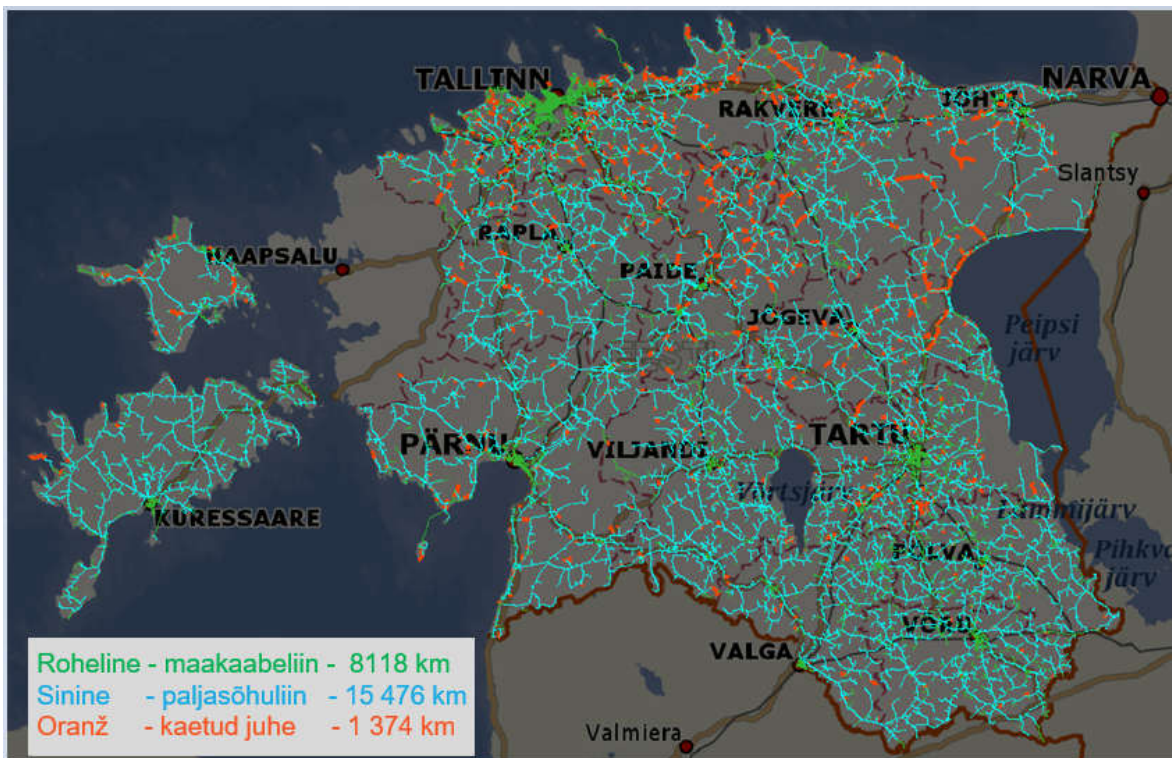
põhimõtetele ei ole eelispingeteks 6 kV ja 15 kV. Tihe ja ülitihed varustuskindluse piirkondades jääda 10 kV pingele kui võimsusvood ja koormused seda võimaldavad ehk kasutatakse ära 10 kV jaotusvõrgu jääkressursi. Joonisel 2.2 on välja toodud jaotusvõrgu pingestamete jagunemine keskpingeliinide kaupa. [7]



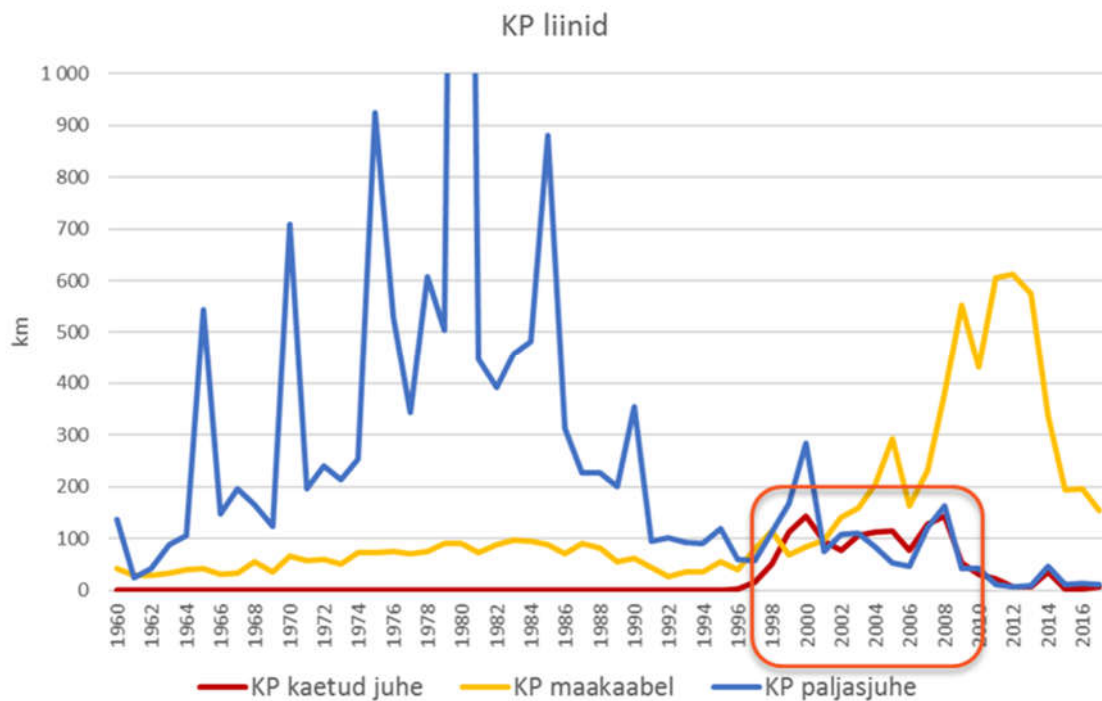
Joonis 2.2. Keskpinge elektrivõrgu liinide pingestamete jagunemine. [6]

Võrguplaneerimise põhimõtetes nähakse ette etappidena 6 kV, 10 kV ja 15 kV võrkude üleviimist 20 kV pingele. Üleminekul 6 kV pingestamelt perspektiivsele 20 kV pingestamele võib vaheetapina linnades kasutada 10 kV pingestamist (10 kV võrgu jääkressursi ära kasutamine). [7]

Keskpingeliinid jagunevad paljas- ja kaetud juhtmega õhuliinideks ning maakaabelliinideks. Ülitihedas ja tihedas varustuskindluse piirkonnas on enamjaolt maakaabelliinid, kesktihedas ja hajas varustuskindluse piirkonnas on paljas- ja kaetud juhtmega õhuliinid. Joonisel 2.3 iseloomustab keskpingeliinide paiknemist liinitüüpide järgi.

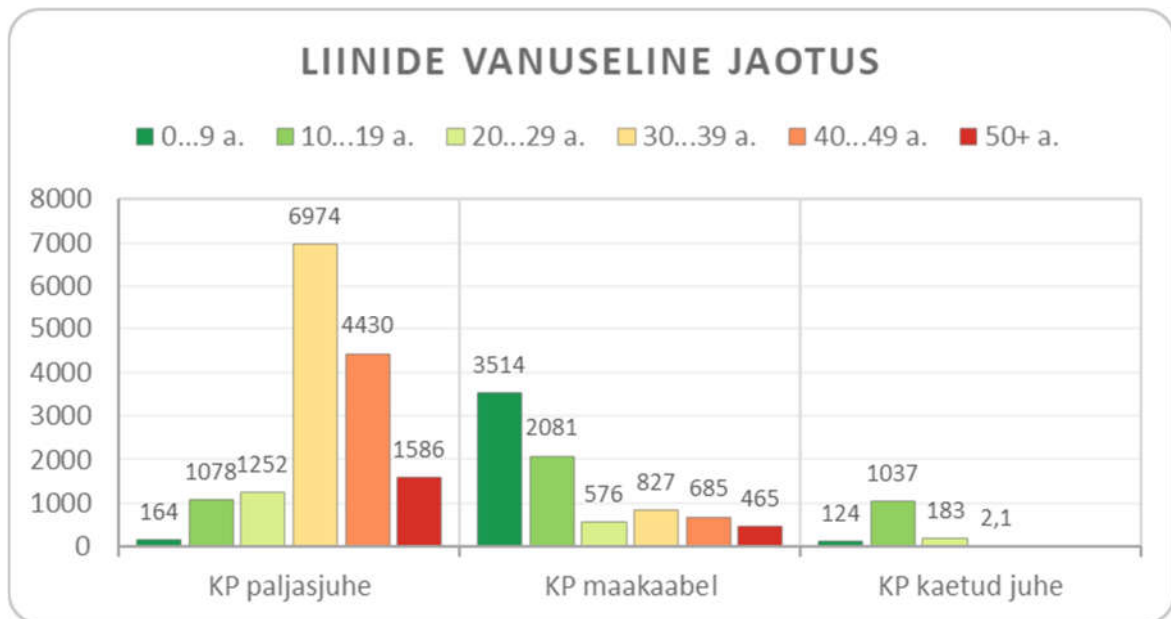


Joonis 2.3. Keskpingeliinide paiknemine liinitüüpide järgi. [6]



Joonis 2.4. Keskpingeliinide vanuseline koostis aastatel 1960–2016. [8]

Keskpinge kaetud juhtmega õhuliine paigaldati enamuses aastatel 1997–2010, samal perioodil paigaldatud paljasjuhtmega õhuliini puhul on tegemist hoolduse ja rikketööde käigus asendatud paljasjuhtmega õhuliiniga. Aastatel 2006–2012 oli suur rõhk keskpinge maakaabelliini võrgu ehitamisel, mille hulka kuulus nii uue võrgu ehitus, kui ka vana maakaabelliini võrgu asendamine. [8]



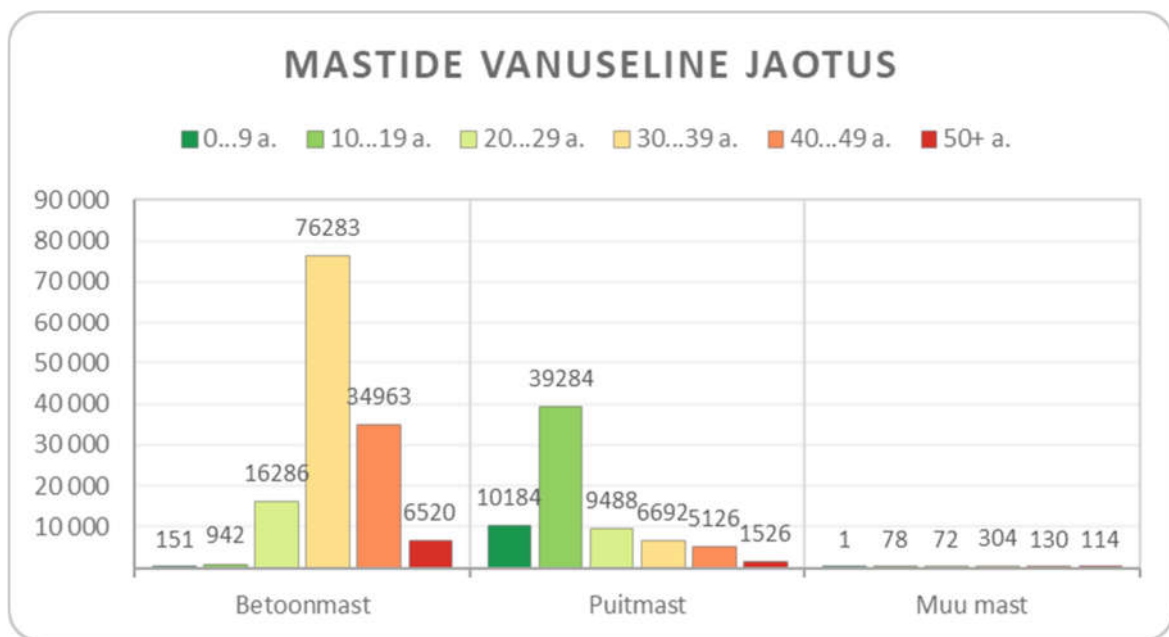
Joonis 2.5. Keskpingeliinide vanuseline jaotus. [6]

Jooniselt 2.5 lähtub, et keskpinge õhuliinide keskmine vanus on suurem, kui 30 aastat ja enamused liinidest on normaaleluea lähedal või selle juba ületanud. Samalaadne võrdlus kehtib ka mastide kohta, mis on samuti normaaleluea lähedal või juba üle selle. Varakoosluse vananemine seab suured ootused varade uuendamisele. Pikemas plaanis põhjustab vananemine olulist rikete suurenemist ja kvaliteedinäitajate halvenemist.

Enne 1970. aastat paigaldatud betoonmastidega liinide ning enne 1996. aastat paigaldatud puitmastide puhul on valdav enamused liinide ehitusliku osa defektidest mastide defektid – raudbetoonmastide puhul betooni pealispinna murenemine ja paljastunud armatuur, puitmastide puhul puidumädanik ning kõikide mastide puhul üldisemalt viltu vajunud ja õigumist vajavad mastid. Liinitrasside korrashoiu mahud on jätkuvalt ebapiisavad ja see mõjutab otseselt klientide varustuskindlust ning lisaks ka liinide ja liinielementide seisukorda ning eluiga.

Kõige rohkem on elektrivõrgus raudbetoonmaste. Raudbetoonmaste uute liinide ehitusel enam ei kasutata. Olemasolevate liinide raudbetoonmaste kasutatakse olemasolevate õhuliinide rekonstrueerimisel, kui see on vastavalt koormusarvutustele ja masti seisukorrale võimalik. Liinide rekonstrueerimisel või uusehitusel kasutatakse puitmaste, mida liigitatakse vastavalt immutusviisile: 1) tanalith ja 2) kreosoot. Immutus tagab mastidele vastavalt 20 ja 40 aastase eluea.

Üle eluea on raudbetoonmastide puhul mastid, mis on paigaldatud enne 1970-ndat, puitmastide puhul võib lugeda sama näitajat alates 1990. aastast.



Joonis 2.6. Keskpinge mastide vanuseline jaotus. [6]

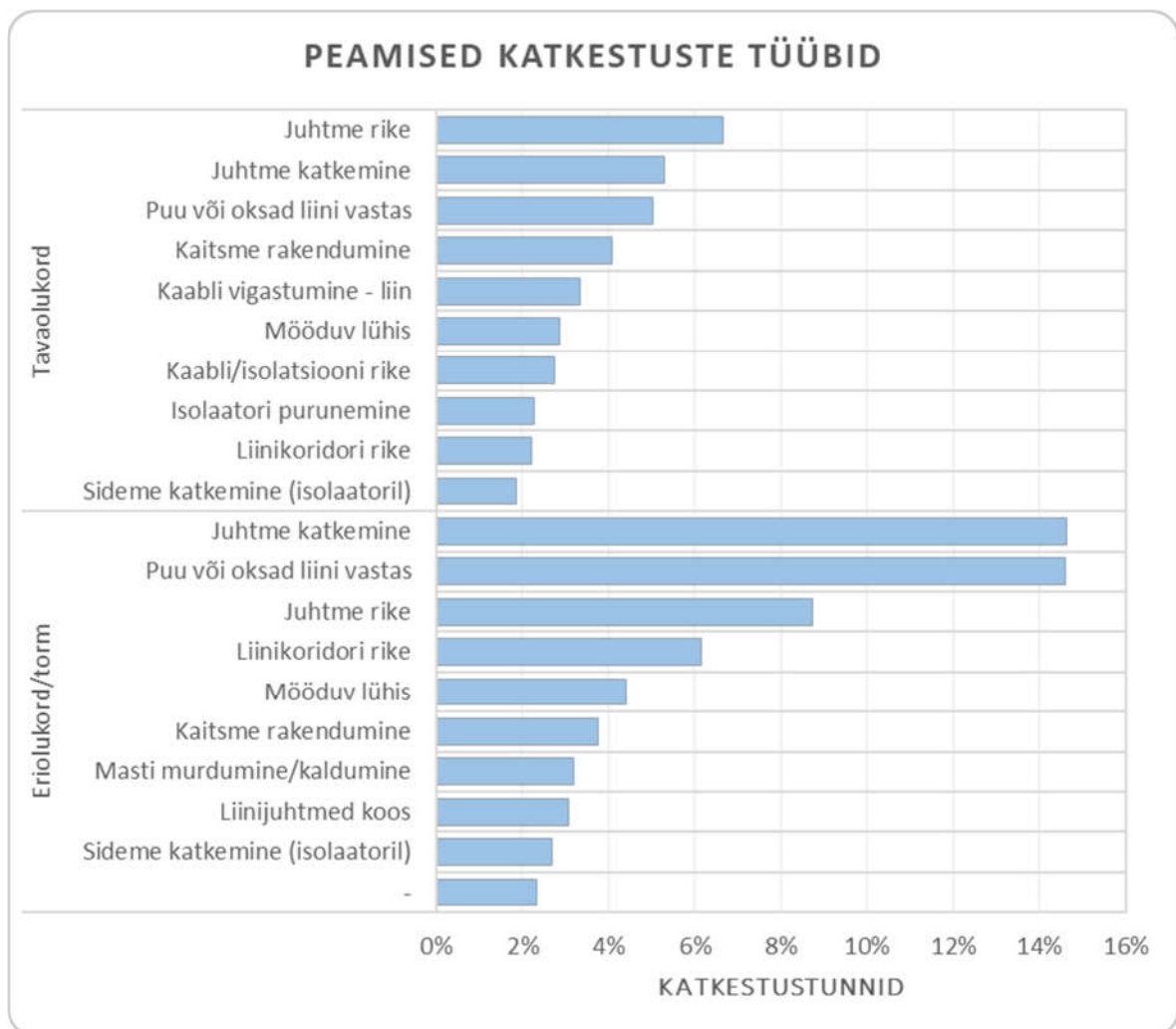
Keskpinge õhuliinide varade osakaal rikkelisest *SAIDI*-st moodustab ligikaudu 55%, seega saab järeldada, et investeerides õhuliinide rekonstrueerimistöödesse, on antud varagrupi mõju kõige suurem rikkelise *SAIDI* vähendamisel. Enamik õhuliinidest on normaalelueale lähedal või selle ületanud. [8]

2.4. Keskpingevõrgu kvaliteet

Vaadeldes keskpinge paljasõhuliini mahtu 15 476 km, mis moodustab kogu liinide pikkusest 63%, siis liinirikete osakaal paljasõhuliini puhul on 85%. Keskpinge kaetud juhtme osakaal

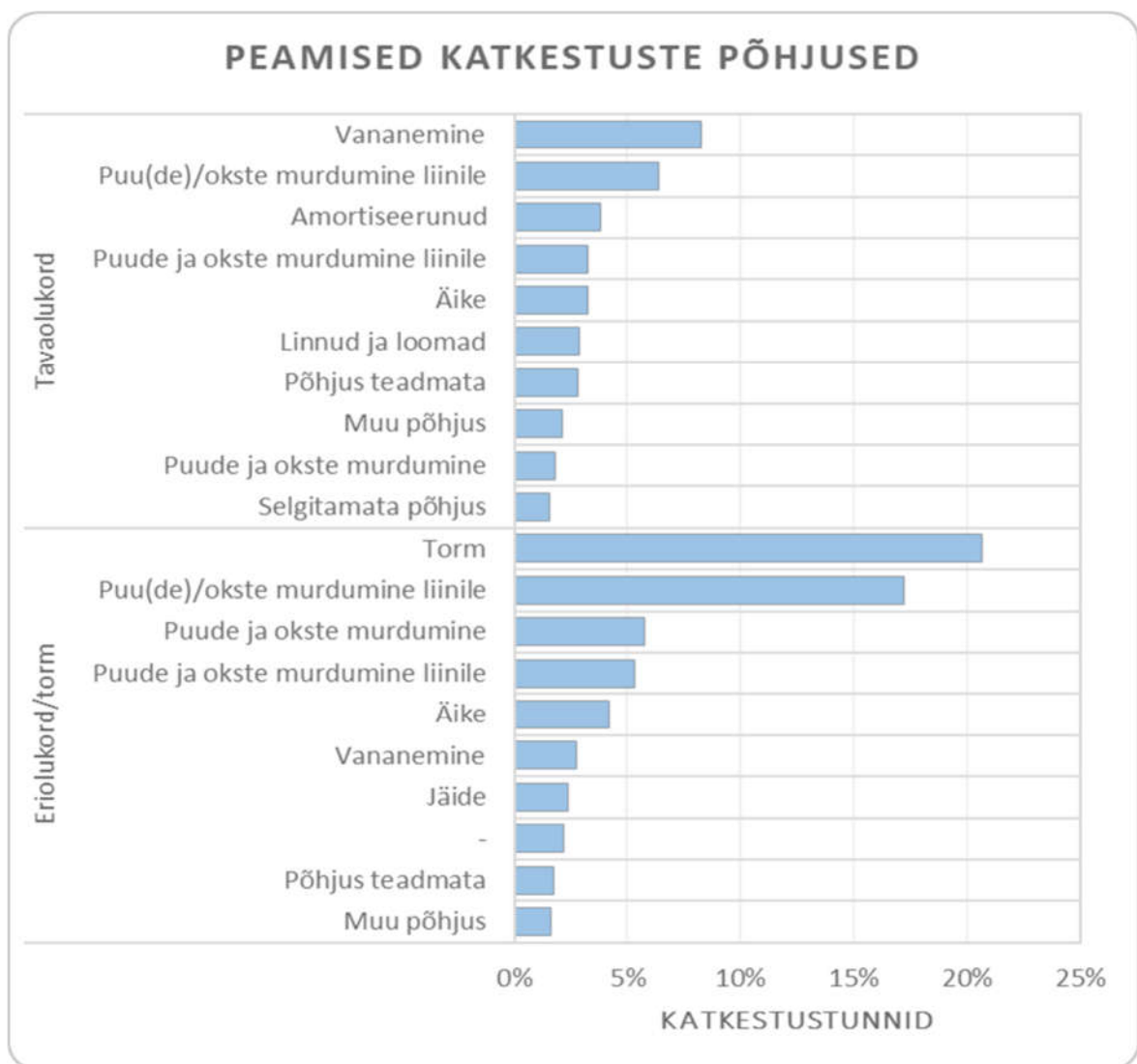
on 1374 km ja moodustab kogu keskpinge võrgu pikkusest 5% kuid liinirikete osakaal on 3%. Antud suhtest on võimalik järeldada, et paljasõhuliini rikkelisus on tunduvalt suurem. Juhul, kui kõik paljasjuhtme liinid asendataks kaetud juhtmega, siis arvestades neid algandmeid, väheneks rikete arv kogu võrgus 47%. [6, 8]

Üldistades enamlevinud rikketüüpe, saame väita, et suures ülekaalus on tavaolukorras ja eriolukorras just juhtme rikked ning sellele järgneb kaitsme rakendumine. Rikete, mida liigitatakse kaitsme rakendumise alla, puhul on üldjuhul põhjus teadmata, sest tavaolukorras on raske välja selgitada kaitsmete rakendumise põhjust. Juhtme rikked ja kaitsme rakendumine kokku moodustavad kaks kolmandikku kogu rikete arvust ning ülejäänud rikked jagunevad teiste peamiste katkestustüüpide vahel, mis on toodud joonisel 2.7. [6, 8]



Joonis 2.7. Keskpinge võrgu peamised katkestuste tüübid. [6]

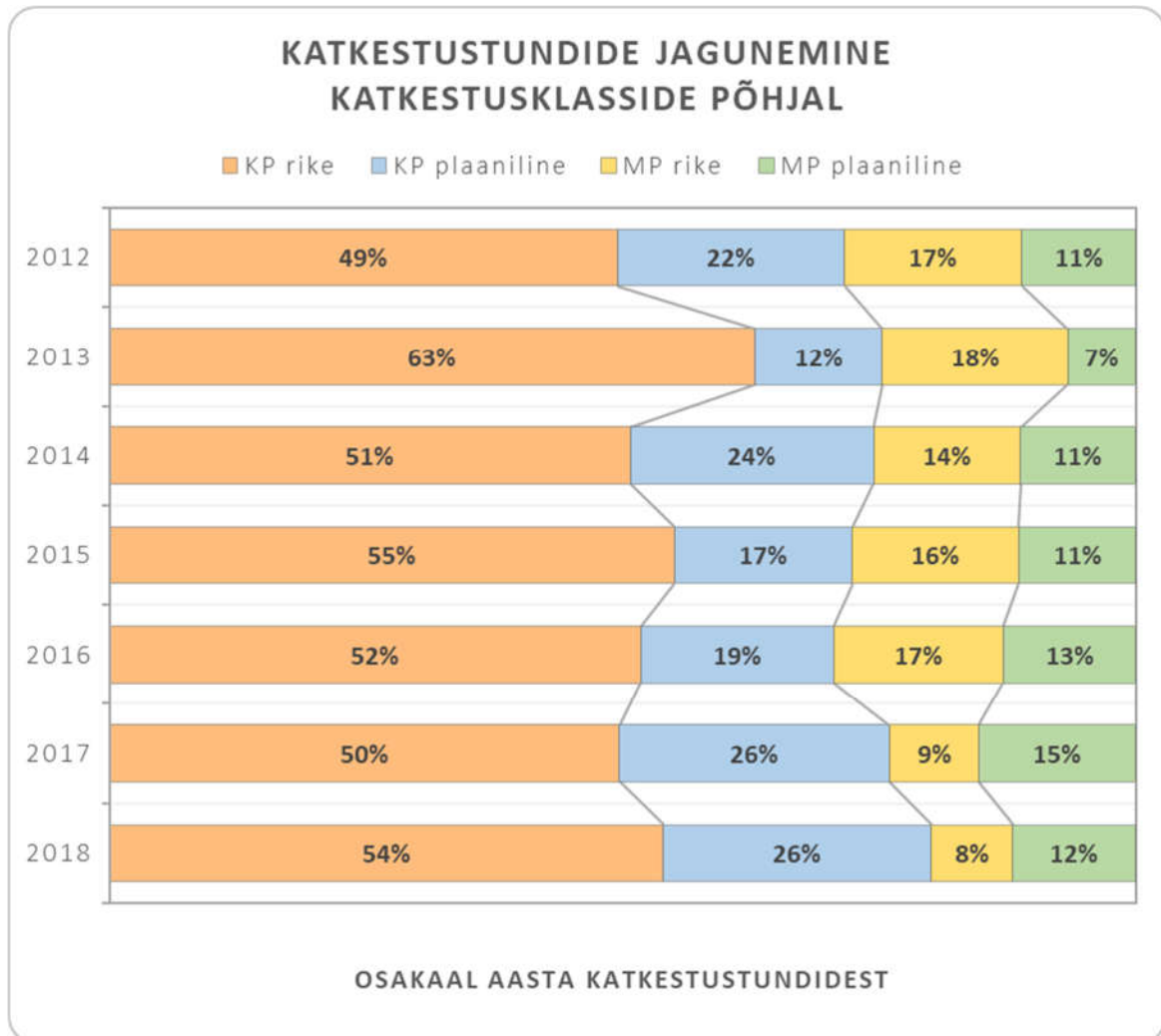
Joonisel 2.8 on välja toodud katkestuste peamised põhjused. Peamine katkestuste põhjus on puude ja okste murdumine ning langemine liinile ja amortiseerunud seadmetest tingitud rikked. Ühe kolmandiku moodustavad rikked, kus on märgitud, et põhjus on teadmata, muu põhjus, selgitamata põhjus. Nende rikete taga on tavaliselt kaitsmete rakendumise rikke tüüp, kus on tagant järgi väga raske tuvastada rikke põhjust. Vastavalt jaotusvõrgu statistikale on kõige rikete rohkemad kuud aastas juuni kuni oktoober. Ilmastiku nähtustest mõjutab jaotusvõrgu rikkelisust kõige rohkem tuul, tormid ja jäide. [6, 8]



Joonis 2.8. Keskpingevõrgu peamised katkestuste põhjused. [6]

Keskpinge varagrupis on paljasõhuliini rikkelisusel kõige suurem mõju kvaliteedi näitajatele. Antud komponendi osakaal *SAIDI*-st on ligikaudu 70% võrreldes keskpinge

kaetud õhuliini ja keskpinge kaabeliini osakaaluga, mis moodustavad mõlemad vastavalt ligikaudu 2% ja 11% SAIDI-st. [6, 8]



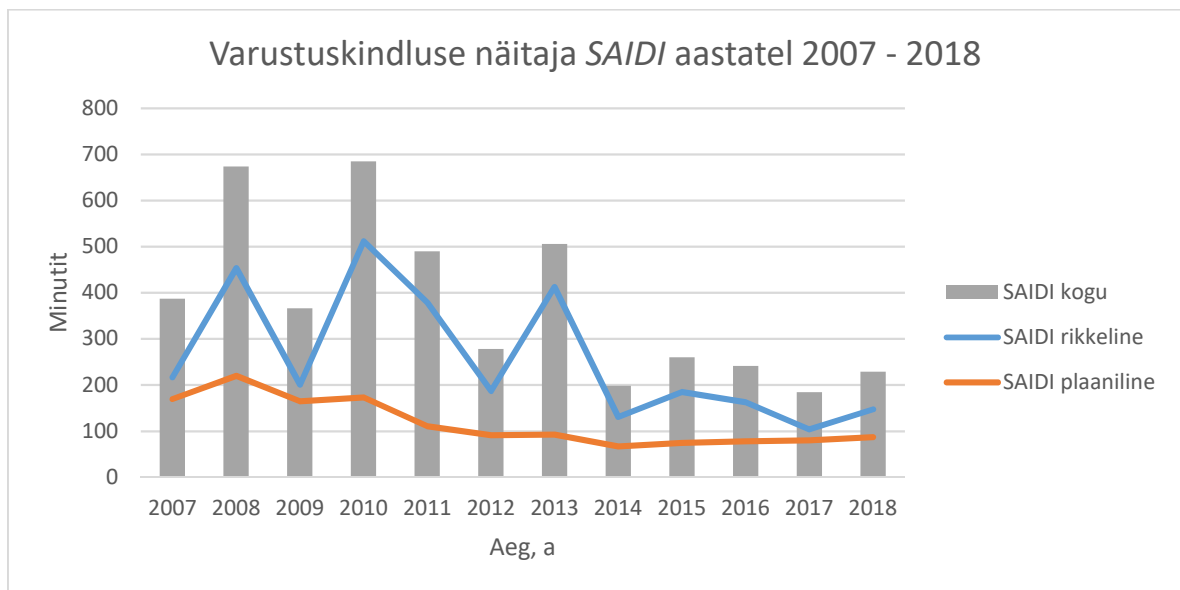
Joonis 2.9. Katkestustundide jagunemine katkestus klasside põhjal. [6]

Joonisel 2.9 on välja toodud katkestustundide jagunemine katkestusklasside põhjal, eristatud on keskpinge elektrivõrgus plaanilised ja rikkelased katkestustunnid. Enamus katkestustundidest moodustavad keskpinge elektrivõrgu rikked. Kõige suuremaks katkestuse tüübiks saame lugeda juhtmetega seostud rikked ning nende peamised põhjused on puude ja okste langemine liinile.

2.5. SAIDI keskpinge elektrivõrgus

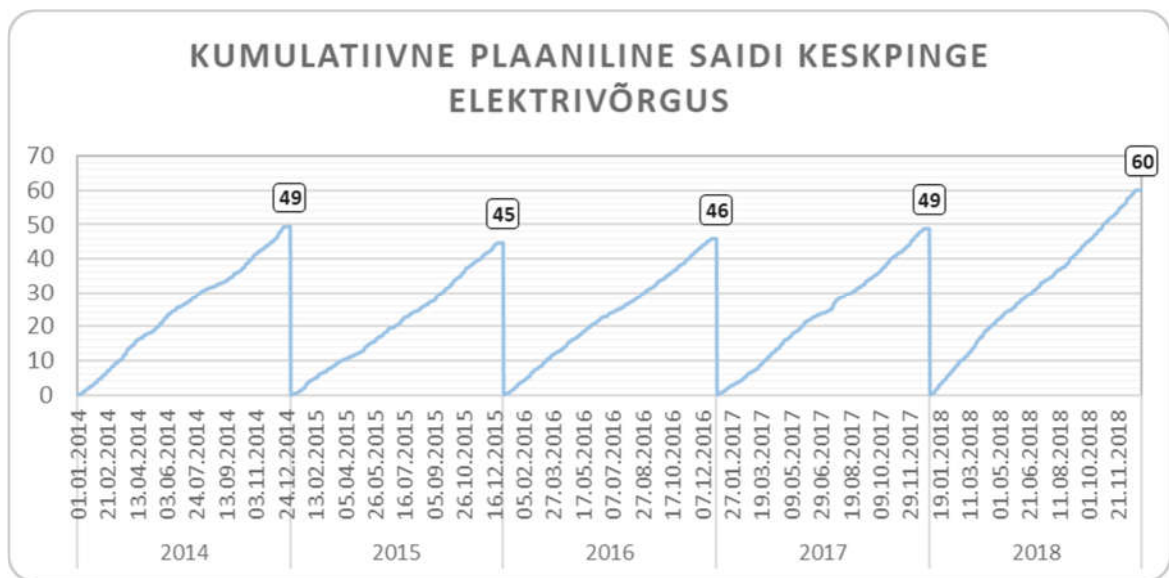
Jaotusvõrgus eristatakse ja jagatakse $SAIDI_{kogu}$ kaheks mõõdetavaks suuruseks:

1. Plaaniline $SAIDI$, mis on seotud:
 - võrgukindluse investeeringutega;
 - elektrivõrguga liitumiste investeeringutega;
 - elektrivõrgu hoolustööde investeeringutega.
2. Rikkeline (mitteplaaniline) $SAIDI$:
 - elektrivõrgu rikkelisuset tulenevad katkestused;
 - elektrivõrgus tormiga seotud rikked.

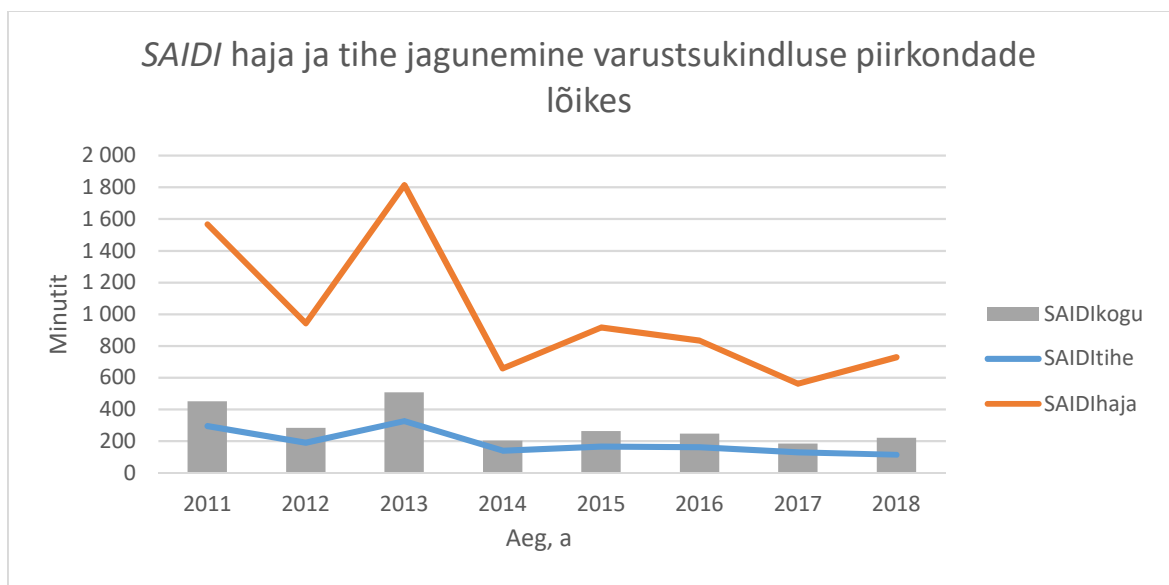


Joonis 2.10. $SAIDI_{kogu}$ näitaja Eesti jaotusvõrgus aastatel 2007–2018. [6]

Joonisel 2.11 on välja toodud $SAIDI_{kogu}$ aastatel 2014–2018. Graafikult joonistuvad väga selgelt välja erakorraliste juhtumite ehk tormide osakaal. Joonisel 2.10 on näha, et läbi aastate on plaanilise $SAIDI$ näitaja olnud stabiilne.



Joonis 2.11. *SAIDI*_{plaaniline} näitaja Eesti jaotusvõrgus aastatel 2014–2018. [6]



Joonis 2.12 *SAIDI* haja/kesktihe ja tihe/ülitihed piirkonnas. [6]

Joonis 2.12 näitab, et haja ja kesktihe piirkonna võrgu *SAIDI* on oluliselt kõrgem kui *SAIDI* tiheda ja ülitiheda piirkonna võrgus. Selline asjaolu on seletatav *SAIDI* valemiga ühe muutujaga, milleks on tarbijate arv. Ilmselt on haja piirkonnas tarbijaid vähem, mis põhjustab suhteliselt kõrgema *SAIDI*. Oluline on siinkohal lisada, et Elektrilevi andmetel 60%-l kogu Elektrilevi elektrivõrgust paikneb 13% tarbijaid, kes tarbivad 4% elektrienergiast. Vaadeldes mõlemat asjaolu koos, joonistub välja probleem, mille alge

peitub erineva võrgutihedusega võrgu osadele kehtestatud ühtsest varustuskindluse näitaja määrast.

Kaheldamatult ei ole hajaasustusega piirkonnas tekkiv rike samaväärne ülitihedas piirkonnas tekkinud rikkega ja seda nii põhjustatud kahju, rikke likvideerimisele kulunud aja ega ka vastava kulu poolest. Siinkohal oleks lahenduseks erinevate varustustihedusega piirkondade erinev käsitlemine, seda eelkõige varustuskindluse näitajate määrade, nagu *SAIDI*, *SAIFI* ja *CAIDI*, sätestamisel nii arengukavade, strateegiliste eesmärkide kui ka seaduste koostamisel.

3. VARUSTUSKINDLUSE KVALITEEDINÄITAJATE ANALÜÜS

3.1. Jaotusvõrgu strateegilised eesmärgid

Majandus- ja Kommunikatsiooniministeeriumi poolt koostatud Energiamaajanduse arengukavas (ENMAK) on välja toodud eesmärk, mille täitmisel katkestuste arv keskmise tarbimiskohta kohta jaotusvõrgus väheneks 2–3 korda. Eesti energiapoliitika üks eesmärkidest on viia jaotusvõrgus katkestuste keskmine kogukestus minutites tarbimiskoha kohta aastas 90 minutini aastaks 2030 ning eesmärgi saavutamine peab toimuma ilma täiendava koormuseta võrgutasudele. ENMAK-s on välja toodud jaotusvõrgu suurimad väljakutsed, milleks on rikkelisuse vähendamine ning võrkude ilmastikukindlaks muutmine. [2]

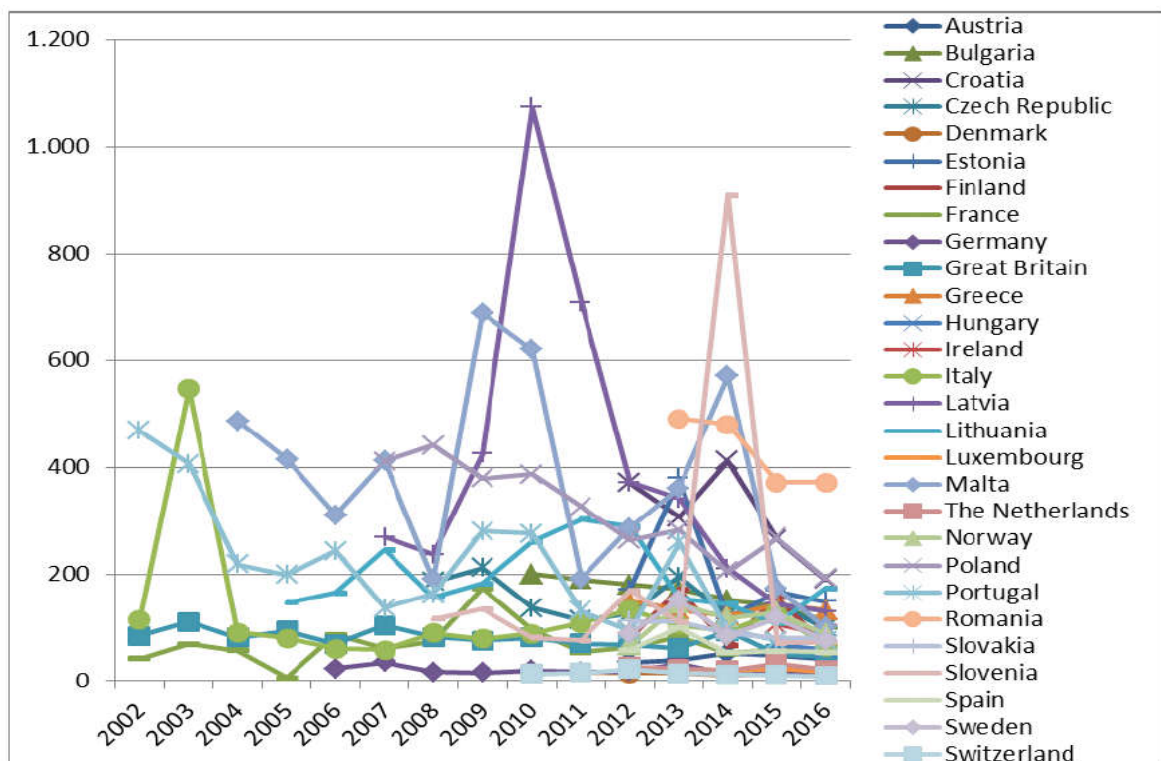
Vastavalt ENMAK arengukavale oli 2016. aastal ilmastikukindlate keskpingevõrkude, mille alla liigituvad nii kaetud juhtmega õhuliinid ja maakaabelliinid, osakaal jaotusvõrkudes ligikaudu 37% koguvõrgust. 2019. aastal on ilmastikukindlate keskpingevõrkude osakaal 38% kogu keskpinge elektrivõrgust. Arengukava kohaselt on optimaalne, kui ilmastikukindlate võrkude osakaal jääb 75–80% vahemikku. Arengukavas on oluliseks peetud jaotusvõrkude vajadust lähtuda senisest rohkem varustuskindluse piirkondlikest eripäradest ja potentsiaalsete katkestuskahjude analüüsist. Rööpselt tuleb arvestada Eesti rahvastiku paiknemise ja tiheduse eripäradega. Vastav informatsioon on ära toodud peatükis 2.2 ning joonisel 2.1 millest viimasel on visualiseeritud Eesti jaotusvõrgu keskpinge elektrivõrgu jagunemine varustuskindluse piirkondade kaupa. [2]

ENMAK kohaselt tuleb elektrivõrgu arendamisel lähtuda piirkondlikust varustustihedusest keskendudes piirkondadele, kus potentsiaalne katkestuskahju kujuneb suurimaks. Eelnevalt johtuvalt peab arengukava mõistlikuks diferentseerida nõutavate töökindlusnäitajate (*SAIFI*, *SAIDI*, *CAIDI*) sihtväärtused sõltuvalt tarbimistihedusest ja potentsiaalsest katkestuskahjust, arvestades sealjuures Eesti rahvastiku paiknemist ja tihedust (tiheasustuspiirkonnad, hajapiirkonnad jne.) ning vajadust vähendada survet võrgutasude tõusuks [2]

Samad sihteesmärgid on seadnud jaotusvõrgu ettevõtja enda strateegiliste eesmärkide nimekirja ehk *SAIDI* viimine nõutud 90 minuti tasemele aastaks 2030. Eesmärgini jõudmiseks on planeeritud tegevused, mis võimaldavad hoida töökindlusinvesteeringute pikaajalist taset. Toetavaks eesmärgiks on seatud üleeluealiste varade osakaalu vähendamine. Võrguettevõtja viib nimetatud eesmäärke ellu vastavalt keskpinge varagrupi strateegiale ja varahaldusplaanidele. [9]

3.2. SAIDI CEER raport

Alates aastast 2001 on Euroopa energeetikasektorit reguleerivate asutuste nõukogu (*CEER*) võtnud korduvalt vaatluse alla elektritarnimise kvaliteedi nii liikmesriikides kui ka vaatlusriikides. Vaatluste tulemused on esitatud 2016. aastal avaldatud *CEER*-i võrdlusuuringute järjekorras juba kuuendas aruandes. 2017. aastal otsustati mitte teostada võrdlusuuringut terves mahus vaid opereeriti eelnevates uuringutes osalenud riikide andmetega, vastavad riigid on näha joonisel 3.1. [10]

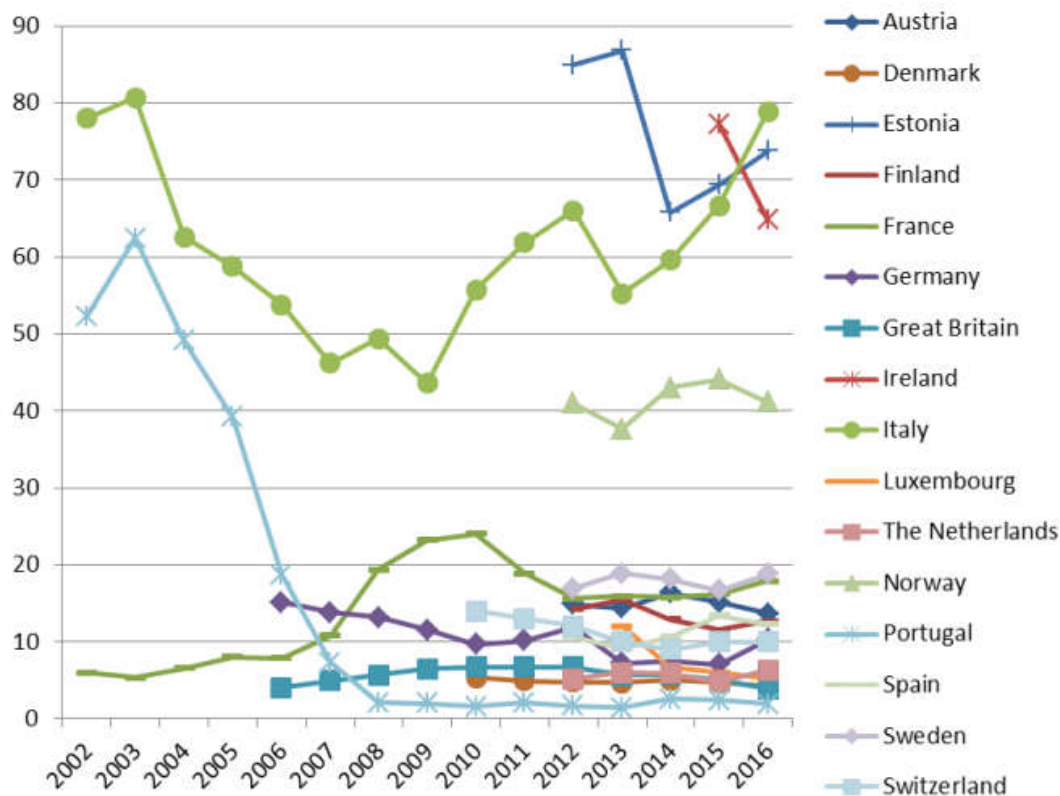


Joonis 3.1. *SAIDI*_{rikkeline}, sh erakorralised sündmused (minutit tarbimiskoha kohta). [10]

6.1 *CEER Benchmarking Report* värskendab ainult põhiandmeid elektrivarustuse järjepidevuse ja tehniliste näitajate kohta, kõiki teisi tarnimise kvaliteedi valdkondi käsitletakse uuesti üksikasjalikult 7. *CEERi Benchmarking Report* võrdlusuuringu aruandes. [10]

Planeerimata *SAIDI* ja *SAIFI* väärtused Euroopas näivad olevat stabiilsed või aja jooksul paranevad. 2016. aastal oli rikkeline *SAIDI* (joonis 3.1), sealhulgas erakorralised sündmused, vahemikus 9 kuni 371 minutit ühe kliendi kohta, kuid planeerimata *SAIDI* ilma erandlike sündmusteta oli vahemikus 9–290 minutit kliendi kohta. Esimene näitaja hõlmab kõiki katkestusi olenemata nende põhjusest ja on tõenäoliselt usaldusväärsem võrdlusuuringute jaoks, kuna määratluste erinevused on märkimisväärsed erakorraliste sündmuste kohta Euroopas. 2016. aasta planeerimata *SAIFI* väärtused, sealhulgas erakorralised sündmused olid 0,08 kuni 4,35 katkestuse ja kliendi kohta, samal ajal kui planeerimata *SAIFI*, välja arvatud erakorralised sündmused, oli 0,05–3,83 katkestust kliendi kohta. [10]

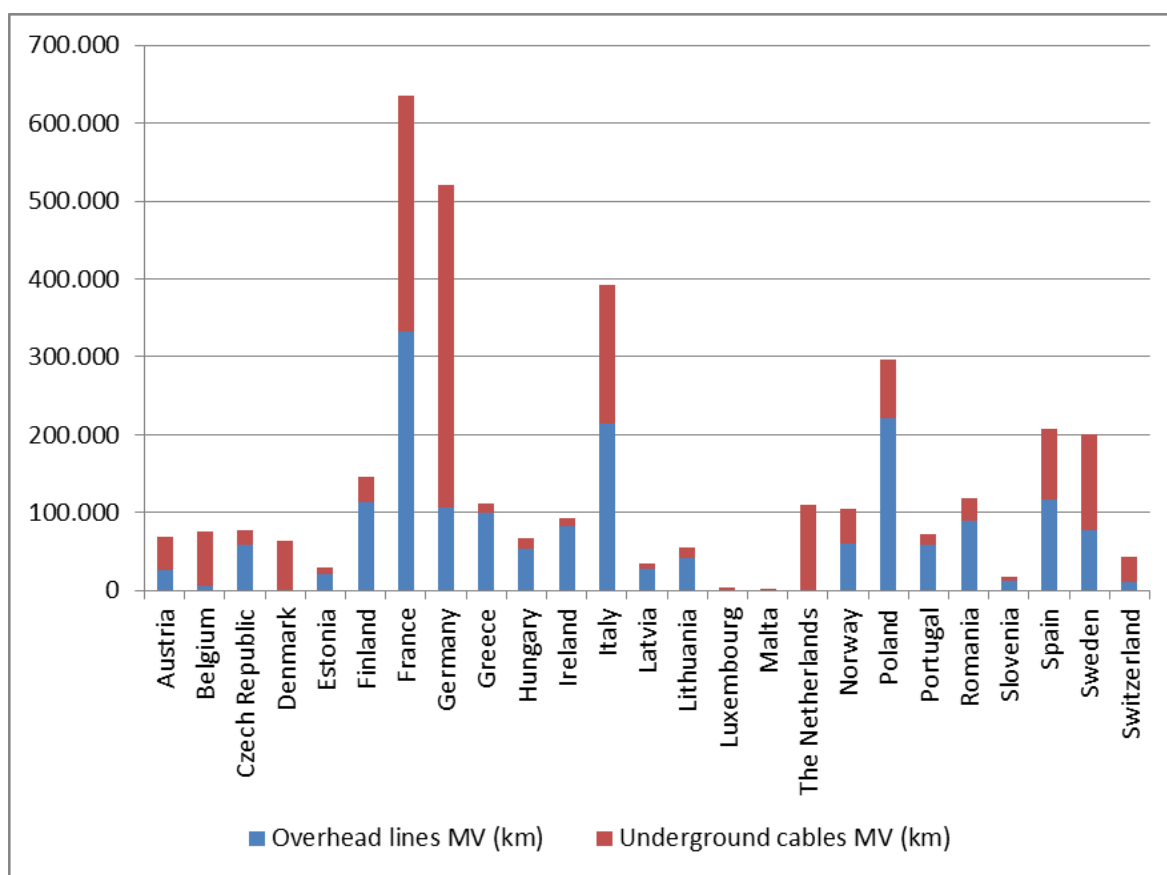
Joonisel 3.2 on toodud plaanilise *SAIDI* näitajad Euroopa liidu maades ja *CEER* poolt vaadeldavate riikide plaanilise *SAIDI* tulemused.



Joonis 3.2. *SAIDI*_{plaaniline} – esindatud on riigid, kes ei ületa 100 minuti piiri (minutit tarbimiskoha kohta). [10]

Raportis toodi välja ainult need riigid, kelle plaaniline *SAIDI* jäi alla 100 minuti katkestuste tarbimiskoha kohta.

Plaanilise *SAIDI* näitajate poolest on Eesti jaotusvõrgul oma planeeritud katkestuste vaates kindlasti veel võimalik saavutada madalamaid tulemusi. Ühtlasi saab välja tuua, et need jaotusvõrgud, mille elektrivõrk koosneb valdavalt maakaablist, saavad endale lubada väiksemaid katkestusaegu ühe tarbimiskoha kohta. Plaanilise *SAIDI* näitajad on alla 20 minuti tarbimiskoha kohta näiteks Rootsis, Saksamaal, Hollandis, Šveitsis, Austrias – neil kõigil on kogu elektrivõrgus vastavalt joonisele 3.3 maakaabelliini osakaal õhuliinidest suurem. Plaaniliste katkestuste planeerimise mõjuriteks on ka jaotusvõrgu tehniline tase ehk automatiseeritus, võrgu konfiguratsioon, katkestusega seotud kliendid.



Joonis 3.3. Keskpingevõrgu varagrupid osakaal. Sinine – keskpinge õhuliin; Punane – keskpinge maakaabel. [10]

3.3. Varustuskindluse näitaja analüüs

Sihteesmärgiks on seatud varustuskindluse näitaja $SAIDI_{kogu}$ viia tasemele 90 minutit 2030. aastaks. Uuringu „*Analysis of investment budget for quality target “SAIDI_{total} 90 by 2030”*” puhul, mis telliti 2017. aastal, on tegemist uurimustööga, milles analüüsiti $SAIDI_{kogu}$ viimist soovitud 90 minuti tasemele ning muuhulgas toodi tulemustena välja sellise eesmärgi täitmiseks vajalikud meetmed. Uuringus on toonitatud jaotusvõrgu uuendamise vajadust, täpsemalt tuleb uuendada vara, mis on üle oma normaalelua ning põhjustab elektrivõrgus rikkeid. Samuti on jõutud järeldusele, et rikete vähendamiseks on vajalik uute tehnoloogiate kasutusele võtmine. Uuenduslikeks tehnoloogiatesks on ilmastikukindlama kaetud juhtme kasutamine madal- ja keskpinge võrgus, võrgu automatiseerimine, kaevetöödel ennetavate kaablikaitsetorude paigaldamine, ebavajaliku elektrivõrgu kasutusest kõrvaldamine. [3, 11, 12]

Avaldatud uuringu käigus analüüsiti küll võrgu uuendamisega kaasnevat mõju rikest sõltuvale $SAIDI$ -le, kuid jäeti vaatluse alt välja keskpinge võrgus kaetud juhtme kasutuselevõtuga kaasnev mõju plaanilisele $SAIDI$ -le.

3.4. Pilootprojektid

2017. aastal teostati üks esimestest kaetud juhtme projektidest Elva-Mahlamäe keskpinge fiidril. Hilisem analüüs näitab, et tegemist oli projekteerimise-projektijuhtimise-ehitamise õppeprojektiga. Tegelikult puudus kõigil osapooltel ettekujutus terviklahendustest ning osapooltel oli erinev arusaamine tööprotsessidest.

2018. aastal teostati täismahus kokku 8 pilootprojekti. Kogu projekti protsessi moodustavad kavandamine, planeerimine, projekteerimine, projektijuhtimine, ehitamine ja auditeerimine.

Projekteerimise protsess algas võrguettevõtja poolt 2018. aasta alguses, reaalne projekteerimine algas peale esimeste juhendmaterjalide koostamist alles 2018. aasta teises pooles.

Kaetud juhtme paigaldamist kavandati 90 km ulatuses, millest realiseeriti vastavalt tabeli 5.5.1 andmetele 30 km.

Tabelis 3.1 on ülevaade 2018. aastal valminud kaetud juhtme projektidest.

Tabel 3.1. 2018 aastal valminud kaetud juhtme pilootprojektid [6]

Nr	Projekti nimi	Projekti kood	SAIDI osakaal (minutit)	Kaetud juhe (km)	Maa-kaabel-liin (km)	Kaetud juhe SAIDI (minutit/km)	Maakaabel SAIDI (minutit/km)
1	Ruusmäe-Misso fiider	IL4496	0,14	7,4	-	0,02	-
2	Valjala-Kallemäe	IS2781	0,54	5,1	0,73	0,11	0,74
3	Linda-Antsla II	IL4771	0,51	4,5	0,97	0,11	0,53
4	Sikassaare - Pihtla	IS2815	0,27	3,6	-	0,07	-
5	Kohila-Adila	IP3076	0,24	2,6	2,67	0,09	0,09
6	Lepassaare-Orava	IL4207	0,10	2,6	0,13	0,04	0,80
7	Elva-Konguta fiider	IL4304	0,36	2,1	-	0,17	-
8	Puurmani-Kaarepere	IL4905	0,05	1,4	-	0,03	-
	Kokku:		2,2	29,1	4,5	0,7	2,2
	Keskmine:					0,076	

Üheks takistuseks projektide realiseerimisel oli samasse projekti samaaegselt projekteeritud maa- ja õhukaabel. Kuna maaomanikud ei soovinud maakaablit oma maale ning nad ei sõlminud vastavaid kokkuleppeid, siis sellisel juhul tuli investering peatada.

Võrguettevõtjal endal puudus ettekujutus oma soovidest ning seetõttu olid juhendmaterjalid ja juhised projekteerijatele ja ehitajatele puudulikud. Vaatamata sellele asjaolule suunati pilootprojektid 2018. aastal projekteerimisse. Takistuseks sai ka võrguettevõtja ja projekteerimispartneri erinev ettekujutus lõpptulemusest. Võrguettevõtja eeldas, et kaetud juhe asendatakse olemasolevatel mastidel, kuid projekteerimise faasis tuli mastid asendada. Mastide vahetuse tingis raudbetoonmastidel defektide esinemine (mõranenud betoon ja paljastunud armatuur). Lisaks osutusid olemasolevate õhuliinide visangud liiga pikaks, mis ei võimaldanud tagada nõuetekohast kaetud juhtme paigaldust. Tekkis vajadus paigaldada lisa maste, mis muutis projekteerimise protseduurid ajaliselt pikemaks, täpsemalt pidi võrguettevõtja maaomanikega enda kasuks seadma notariaalseid isiklike kasutusõigusi. Hetkel vastavalt juhendmaterjalile täiendavate vahemastide kasutamist ei eelistata (va erijuhud), eelisjärjekorras kasutatakse kõrgema klassiga puitmaste. [13]

3.5. Tehnoloogilised lahendused

3.5.1. Kaetud juhtme tehnoloogia

Tuginedes eelnevalt väljatoodud uurimustööle lõigus 3.3, kus oli välja toodud võimalikud tehnoloogiad *SAIDI* parendamiseks, siis antud töös keskendume uurimustöös välja pakutud tehnoloogiale ehk paljasjuhtmete asendamine ilmastikukindlamate kaetud juhtmete ja õhukaablitega. Paljasjuhtme asendamine ilmatikukindlamate kaetud juhtmetega on välja toodud tehnoloogiates kõige suurema mõjuga kvaliteedi näitajale *SAIDI*. Ning selle tehnoloogia kasutamisega on kõige suurema tõenäosusega võimalik jõuda soovitud *SAIDI* 90 minutit tasemele.

Rahvusvahelisele praktikale ja analüüsile toetudes saab väita, et antud lahendus Eesti naabermaades on toonud häid tulemusi. Meie lähinaabrid on toonud välja kaetud juhtme paigaldamisega kaasnevatest positiivsetest mõjudest elektrivõrgu töökindlusele [8]:

- kukkuvatest puudest vähem kahjustusi;
- väiksemad gabariidid: liinijuhtmete vahekaugus 0,5 m, kaugus puudest 1,5 m;
- rikkelisus kuni 10 korda väiksem võrreldes paljasjuhtmega;
- püsirikkeid on paljasjuhtmel 7 r/100 km kohta aastas, kaetud juhtmel 5 r/100 km;
- rikkeid on paljasjuhtmel 4,5 r/100 km kohta aastas, kaetud juhtmel 0,9–1,6 r/100 km (Soome);
- rikkeid on paljasjuhtmel 4 r/100 km kohta aastas, kaetud juhtmel 0,4 r/100 km (Norra);
- vigastuse/defekti likvideerimise tööd on kaetud juhtme korral võimalik nihutada sobivale ajale, seniks toidet ei katkestata.

3.5.2. Tehnilised parameetrid

Võrguettevõtja kasutab töökindlusprojektides kahe ristlõikega kaetud juhet:

1. *BLL 62 FeAl* (juhtme standardile vastavalt *CCST 62-AL1/ST1A W*);
2. *BLL 99 FeAl* (juhtme standardile vastavalt *CCST 99-AL1/ST1A W*). [13]

Keerutatud terasalumiiniumist kaetud õhuliinijuhe nimipingega 20 kV ning kaetud pooljuhtiva kihi ja termoplastist väliskestaga. Maksimaalne töötemperatuur on 70 °C.



Joonis 3.4. *BLL 1x62 FeAL* kaetud juhe. [14]

Minimaalne paigaldustemperatuur -20°C ning alla 0°C on soovituslikud ettevaatusabinõud. [14]

3.5.3. Kogemused teistes jaotusvõrkudes

Kaetud juhtme arendamine algas Soomes juba 1970-ndatel aastatel. Üheks liikumapanevaks jõuks oli vajadus tõsta õhuliinide töökindlust. Lahenduseks oli kaetud juhtme kasutusele võtmine. Tänapäevaks on kaetud juhtme tehnoloogia ja materjalid arenenud tasemele, kus nad on peale Soome laialt levinud ka Suurbritannias, Itaalias, Poolas, jne. [15]

Soomes enamlevinud kaetud juhtmed koosnevad konstruktiivselt alumiiniumsulamist valmistatud juhast ning XLPE katest valmistatud isolatsioonist. Kaetud juhet peetakse töökindlaks erinevates tingimustes, näiteks peab ta nii mehaaniliselt kui elektriliselt vastu olukorras, kus puu on langenud liinile ning jäänud sinna mitmeks päevaks. Lisaks tuuakse eelistena välja lubatud kitsamaid juhtmete õhkvahemikke, ligikaudu ühe kolmandiku

ulatuses võrreldes paljasjuhtmega, ning sellest johtuvalt ka kitsamaid liinikoridore, mis metsastel aladel annab suurt kokkuhoidu. [15]

Soomes on kaetud juhete kasutatud ligikaudu 20 aastat, arvestades liinide suhtelist pikaajalisust, ei ole seda lõplike ja põhjapanevate järelduste tegemiseks piisavalt. Lisaks on kaetud juhtmetele hinnangute andmisel probleemiks asjaolu, kus võrguettevõtjad kasutavad fiidritel segamini nii paljas- kui kaetud juhtmeid, mis omakorda teeb (vea)statistika raskemini jälgitavaks ja ebausaldusväärseks. Siiski, kokku on analüüsitud 2650 riket 4,5 aasta jooksul liinide kogupikkusel 1151 km, millest kaetud juhete oli 254 km. [15]

Lisaks väiksemale rikete arvule, mis oli kaetud juhtmel püsirikete puhul 72% paljasjuhtme rikete arvust, toodi välja järgnev eelis. Kaetud juhtme puhul saab oluliselt paindlikumalt planeerida rikete kõrvaldamist, st näha ette vahendid, töötada läbi plaan, jne, sest enamikel juhtudel ei toimu elektrilist katkestust, kuigi mehaaniliselt on puu liinil. [15]

Toon välja ka Austria kogemused ja õnnestumised keskpinge kaetud juhtme paigaldamisega keskpinge elektrivõrgus. Austrias teostati esimesed kümme aastat väikest pilootprojekti enne kui hakati teostama suurema mahulist 4,1 kilomeetrist projekti *Hackbichl*. Austerlaste peamine eesmärk oli leida majanduslikult võimalikult mõistlik lahendus olemasoleva õhuliini rekonstrueerimiseks. Austerlased said ka tugineda eelnevatele pilootprojektidele, mis olid andnud häid tulemusi. [16]

Endine 20 kV liin ehitati 1953. aastal ja asub Alam-Austria kaguosas. Tegemist on mägise pinnasega 700 meetri kõrgusel merepinnast. Keskpinge paljasõhuliin kulges metsasel ja mägisel avatud maastikul. Ilmastikutingimused, mida antud õhuliin peab taluma on äärmusliku, nagu jää, lumetorm ja tugev tuul. Liinile langevad puud ja oksad, mis on tekitanud olulisi katkestusi ja varustuskindluse probleeme. [16]

Keskpinge õhuliini ehitusel olid takistuseks austerlaste regulatsioonid, näiteks ei olnud lubatud vähendada juhtmete vahelist õhkvahet. Riik andsid selleks siiski eriloa ja samal ajal muudeti regulatsioon vastavaks. [16]

3.5.4. Kaetud juhtme paigaldamise mõju kvaliteedinäitajale

Analüüsid kaetud juhtme pilootprojekte näeme, et keskmine katkestuse aeg on 240 minutit ühe projekti kohta ja keskmine tarbimiskohtade arv projekti kohta on 120. Pilootprojektide valik oli tehtud võimalikult efektiivse võrguopereerimis-võimalustega ehk põhilised paljasõhuliini asendamisega kaetud juhtmega toimusid võrgu ringilülitamistega. Keskmiselt paigaldati kaetud juhete jaotusvõrku iga investeeringuprojektiga 2,6 km. Iga investeeringuprojektiga tekkis keskmiselt plaanilist *SAIDI* 0,3 minutit. [6]

Analüüsid keskpinge kaetud juhtme paigaldamise pilootprojekte tuleb välja tuua, et keskmiselt on ühe kilomeetri kohta *SAIDI* 0,076 minutit. Arvestades, et vastavalt investeeringukavadele on järgnevatel aastatel planeeritud ehitada kuni 520 liinikilomeetrit ilmastikukindlat võrku aastas, siis iga kilomeetri ehitamine toob kaasa plaanilise *SAIDI* olulise suurenemise. [6, 17]

3.6. Investeeringute mahud

Vastavalt sihteesmärgile on varahaldus kavadege planeeritud kindlad mahulised suurused, kavade plaan on koostatud aastani 2022. Kavandatud investeeringute mahud on toodud tabelis 3.2. Kavandatud töökindluse mahud toetavad võrguettevõtte strateegilisi eesmärke, et jõuda aastaks 2030 võrgukvaliteedi näitaja *SAIDI*_{kogu} tasemele 90 minutit.

Tabel 3.2. Keskpinge elektrivõrgu kavandatud mahtude eesmärgid [17]

Tegevus	Ühik	2018	2019	2020	2021	2022
PJ asendamine KJ-ga	km	90	115	290	420	520
PJ asendamine KL-ga	km	165	85	120	140	140
PJ mahu vähendamine	km	58	60	80	80	80
KL uuendamine	km	31	27	27	32	32
KL mahu vähendamine	km	15	24	25	25	31
Alajaamad	tk	252	253	234	234	234
Lülitite arv	tk	0	0	0	20	20
Liinikoridori hooldus	km	1 500	1 500	1 500	1 500	1 400
Ilmastikukindla võrgu osakaal	%	38	39	41	43	46

Lisaks on tabelis 3.2 välja toodud protsendiline osakaal, mis näitab kui suurel määral eesmärgi täitmine mõjutab kogu keskpinge elektrivõrgu ilmastikukindluse osakaalu. Aastal

2018 kavandati ja planeeriti keskpinge paljasõhuliini 90 km, sellest realiseeriti ehk ehitati kokku 30 km.

Põhjused, miks ei õnnestunud realiseerida kavandatud mahte:

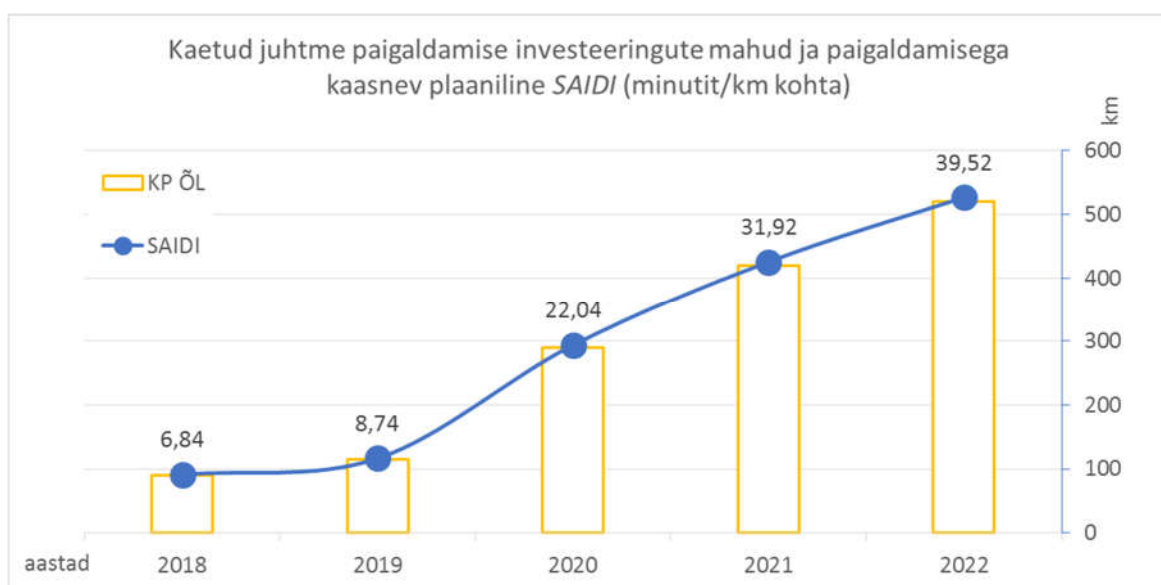
1. Tulenevalt jaotusvõrgu kavandamise põhimõtetest tuleb kaetud juhtmete projekte siduda ka teiste võrguarendus/ehitus projektidega. Projektis sisalduva keskpinge maakaabelliinidest tuleneva maaomanikega kokkuleppele mitte jõudmine.
2. Võrguettevõtja ja projekteerimispartnerid ei olnud valmis uudse tehnoloogia projekteerimiseks ja planeerimiseks. Projekteerijate vähene informeeritus võimalikest riskidest.
3. 2018. aastal suunati pilootprojektid projekteerimisse, aga võrguettevõtjal puudus reaalne kogemus ning vastavad juhendid olid puudulikud.
4. Võrguettevõtja ja projekteerimispartneri erinev ettekujutus (eeldus) lõpptulemusest. Võrguettevõtja eeldus – kaetud juhe asendatakse olemasolevatel mastidel projekteerimisfaasis kuid kaetud juhtme projekteerimisel tuli ka mastid asendada.
5. Juhendmaterjalide koostamine võrguettevõtja poolt 2018. aasta alguses ja projekteerimise reaalne algus 2018. aasta teises pooles.
6. Selleks, et täita strateegilist eesmärke *SAIDI*_{kogu} 90 minutit, tuleb kavandatud varaplaan täita terves mahus. Arvestades 2018. aasta kogemusi, võib eeldada, et 2019. aastaks kavandatud mahud täidetakse täies ulatuses.

3.7. Investeeringute mõju varustuskindlusele

Uurimustöös vaatleme põhiliselt kaetud juhtme mõju *SAIDI*-le, sest eemärk on leida, kui suurel määral mõjutab uue tehnoloogia (kaetud juhtme) rakendamine ja juurutamine *SAIDI*-t tervikuna. Võrguettevõtja eemärk on vähendada rikkelist *SAIDI*-t, mille läbi väheneb kogu *SAIDI* näitaja. Selleks, et vähendada rikkelist *SAIDI*-t, on vajalik ehitada elektrivõrk töökindlamaks. Selleks tuleb investeerida elektrivõrgu töökindlusesse kuid elektrivõrgu investeeringutööde teostamisel kaasneb negatiivne mõju plaanilisele *SAIDI*-le.

Leidmaks negatiivse mõju suurust plaanilisele *SAIDI*-le, analüüsimise juba eelnevalt valmis ehitatud pilootprojekte.

Investeeringute mõju saame hinnata eelnevate pilootprojektide algandmeid ja statistikat analüüsides ning saadud andmeid üldistades ja peegeldades planeeritud projektidele. Tabelis 3.2 on välja toodud kavandatud mahud aastatel 2018–2022, neid mahte saab kasutada tulevase plaanilise *SAIDI* analüüsimisel. Pilootprojektidest tulenevalt saime tulemuseks, et ühe kilomeetri kaetud juhtme ehitusega kaasneb keskmiselt 0,076 min *SAIDI*-t. Arvestades, et 2022. aasta eesmärgi täitmiseks tuleb ehitada 520 kilomeetrit kaetud juhet, siis võime arvestada, et keskmiselt kaasneb sellega ca 39,5 minutiline mõju kogu *SAIDI*-le.



Joonis 3.5. Kaetud juhtme paigaldamisest tuleneva $SAIDI_{\text{plaaniline}}$ osakaal $SAIDI_{\text{kogu-st}}$. [6]

Vaadeldes keskpinge maakaabli ehitusmahte, mis ei vähene vastavalt kaetud juhtme paigaldamise mahu suurenemisega, siis ei saa väita, et kaetud juhtme investeeringute suurenemisega võiks tasakaalustada kaetud juhtme mahu suurenemist.

Pilootprojektide mahtude statistikast võib välja tuua, et maakaabeliini paigaldamisega keskmine *SAIDI* näitaja osakaal on 0,02 minutit kilomeetri kohta. Maakaabeliini puhul on katkestuste aeg ja sagedus väiksem, kuna katkestused on ainult konkreetsete ühenduste tegemiseks.

Vaadeldes kaetud juhtme pilootprojektis maakaabelliini paigaldamiseks tehtud katkestusi, on võimalik järeldada, et tegelikkuses on maakaabelliini paigaldamise katkestuse ajal teostatud ka teisi õhuliini töid, sest keskmine maakaabelliini ehitusest tekkiv mõju *SAIDI*-le on kaetud juhtme projektides suurem, kui ainult maakaabelliini projektides.

Peale maakaabelliinide investeeringute vaatleme investeeringugruppide lõikes planeeritavate investeeringumahtude prognoositavat dünaamikat. Kasutades tabelis 3.2 toodud informatsiooni planeeritavate investeeringu mahtude kohta, taandame absoluutarvud suhtarvudeks, eesmärgiga visualiseerida investeeringute dünaamikat aastate lõikes. Vastavad tulemused on näha allpoololevas tabelis 3.3, kus on ära toodud investeeringutüüpide mahtude suhteline muutus 2018. aasta mahtudega võrreldes.

Tabel 3.3. Investeeringute mahtude suhteline muutus 2018. aasta mahtudega võrreldes, kordades [6]

Investeeringu tüüp	2018	2019	2020	2021	2022
PJ asendamine KJ-ga	1,00	1,28	3,22	4,67	5,78
PJ asendamine KL-ga	1,00	0,52	0,73	0,85	0,85
PJ mahu vähendamine	1,00	1,03	1,38	1,38	1,38
KL uuendamine	1,00	0,87	0,87	1,03	1,03
KL mahu vähendamine	1,00	1,60	1,67	1,67	2,07
Alajaamad	1,00	1,00	0,93	0,93	0,93
Lülitite arv ¹⁾	1,00	1,00	1,00	20,0	20,0
Liinikoridori hooldus	1,00	1,00	1,00	1,00	0,93

Märkus. Investeeringuid lõigus „Lülitite arv“ aastatel 2018-2020 ei toimu, seega on investeeringute arv ja summa 0 ning antud rida ei arvestata vaatamata väiksemahulistele investeeringutele 2021. ja 2022 aastal.

Tabelist 3.3 lähtub, et suurim muutus investeeringumahtudes on paljasjuhtme asendamisel kaetud juhtmega, so 5,78 korda, võrreldes 2018. aasta mahtudega.

Vastavalt võrguettevõtte andmetele moodustas kogu võrgu investeerimistegevustest *SAIDI*_{plaaniline} 47,5 minutit. Antud number tuleneb 2018. aasta statistilistest andmetest, mis on ära toodud tabelis 3.4 ning mis on usutavad, kuna kaheldamatult annab suurima osa keskpinge jaotusvõrgu *SAIDI*_{plaaniline}-st jaotusvõrgu hooldamine, sh mahukaimana liinivõrgu korrashoid, mis annab kogumahust 26,31 minutit. Tabelis 3.4 on eraldi välja toodud keskpinge jaotusvõrgu investeeringud, mis seotud liinide ja alajaamade investeeringutega vastavalt tabelis 3.2 toodud 2018. aasta mahtudele. Selliste investeeringute mõju *SAIDI*_{plaaniline} oli 2018. aastal kokku 15,18 minutit (Tabel 3.4, read 3, 6 ja 18).

Tabel 3.4. Investeeringustegevuste poolt põhjustatud *SAIDI*_{plaaniline} 2018.aastal [6]

Jrk	Investeeringustegevus	<i>SAIDI</i> _{plaaniline}
1	Liinikoridoride hooldus	26,31
2	Investeeringud nõuetekohasuse tagamiseks (ARE)	9,69
3	Kesktihe piirkonna keskpinge võrgu parendamine	9,19
4	Kriitilised mittevastavused	8,74
5	Projektitööga liitumine	6,24
6	Haja piirkonna keskpinge võrgu korrashoid	5,76
7	Võrgu hooldus	4,94
8	Investeeringud rikete vähendamiseks	3,70
9	Võrgu korrashoiutööd	3,51
10	Kliendiprobleemide lahendamine	2,02
11	Bilansiarvestid	1,84
12	Võrgu ümberehitus kliendi soovil	1,38
13	Pingeklassi muutmine keskpinge võrgus	1,11
14	0,4-20 kV võrgu ümberehitus seoses liitumistega	0,57
15	Piirkonnaalajaamade rekonstrueerimine PRO	0,49
16	Väiketöö	0,46
17	Jaotusalajaamade rekonstrueerimine INV	0,36
18	Tihe varustuskindluse piirkonna KP võrgu uuendamine	0,23
19	Muud	0,96

Kasutades tabelites 3.2, 3.3 ja 3.4 olevaid andmeid, saame 2018. aasta andmete, sealhulgas absoluutväärtuste ja suhtarvude, alusel ekstrapoleerida *SAIDI*_{plaaniline} näidud aastateks 2019-2022. Vastavad tulemused on toodud tabelis 3.5.

Tabel 3.5. Uuringu tulemusena prognoositavad *SAIDI*_{plaaniline} näitajad aastateks 2019-2022, minutites [6]

Nr	<i>SAIDI</i> _{plaaniline} jagunemine	Suhe kogu <i>SAIDI</i> _{plaaniline}	Aasta				
			2018 ¹⁾	2019	2020	2021	2022
KOKKU	Plaaniline <i>SAIDI</i> kokku	100,00%	87,5	87,1	102,2	112,8	118,0
A	sh hooldus	45,70%	40,0	40,0	40,0	40,0	37,3
B	sh investeeringustegevus	54,30%	47,5	47,1	62,2	72,8	80,6
B1	sh liinide ja alajaamade investeeringud	17,37%	15,2	14,8	29,9	40,5	48,3
B1.1	sh kaetud juhtme piloottprojektid	7,82%	6,8	8,7	22,0	31,9	39,5
B1.2	sh muud liinide projektid	9,55%	8,4	6,1	7,8	8,6	8,8
B2	sh muud investeeringud	36,93%	32,3	32,3	32,3	32,3	32,3

Märkus. 1) tegelikud andmed

Tabeli 3.5 koostamisel on kasutatud järgmisi eelduseid ja võtteid:

1. Kaetud juhtme pilootprojektide tulemused (tabelis 3.5 rida B1.1) on projitseeritavad kogu keskpinge jaotusvõrgule, st et pilootprojektides faktiliselt tuvastatud $SAIDI_{\text{plaaniline}}$ kilomeetri kohta on korrutatud läbi prognoositavate investeeringumahtudega, ehk kilomeetritega (vt tabel 3.2).
2. Muude liinitööde (sh investeeringud alajaamadesse, maakaabelliinidesse jms, vastavalt tabelile 3.2 ja 3.4) tulemused (tabelis 3.5 rida B1.2) on saadud korrutades investeeringute naturaalnäitajate suhtelist muutust 2018. aasta faktilise $SAIDI_{\text{plaaniline}}$ näiduga.
3. Muu investeerimistegevus, mis ei ole seotud vaatluse all olevate jaotusvõrgu liinide ja alajaamade investeeringutega, on võetud konservatiivselt ühtlaselt 2018. aasta tasemele (tabelis 3.5 rida B2).
4. Hooldustegevus (tabelis 3.5 rida A) on planeeritud stabiilselt samaks, mõningase mahu langusega 2022. aastal. Vastavat proportsiooni on ka arvestatud.

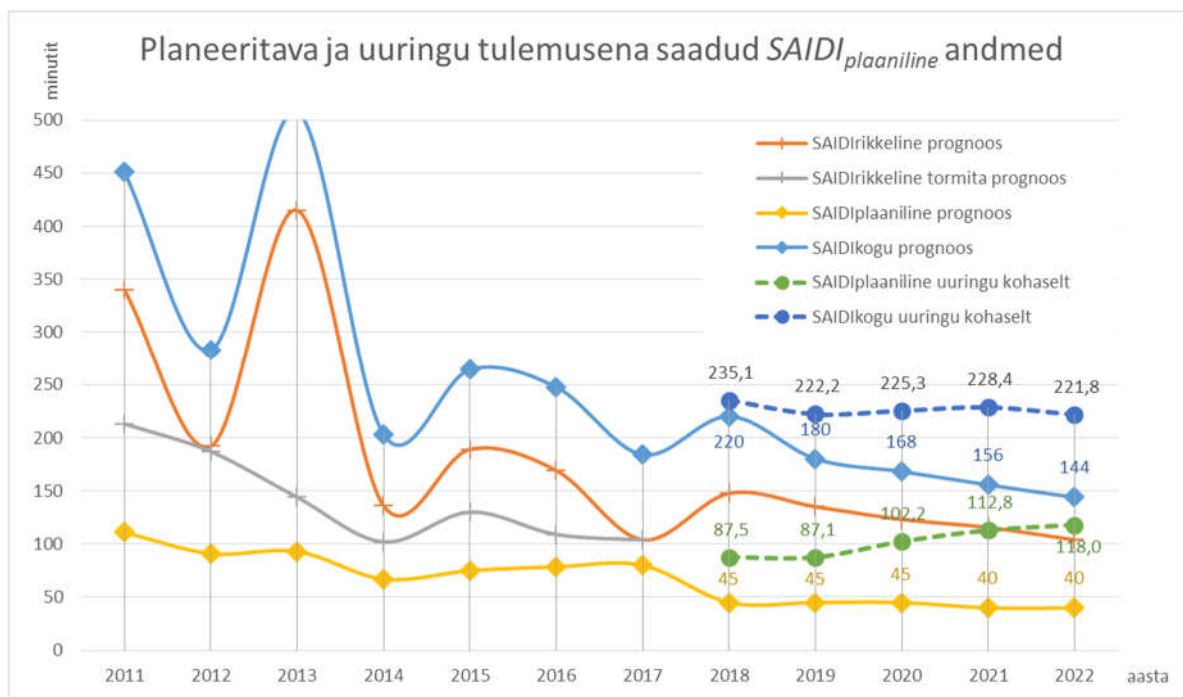
3.8. Tulemused

Uurimistöö eesmärgiks oli uurida võrguettevõttes teostatavate investeeringute mõju varustuskindluse indeksile $SAIDI$ ning anda vastus põhiküsimusele, milleks oli varustuskindluse indeksi $SAIDI$ vähendamise plaani elluviimise võimalikkuse kontrollimine.

Uuringu tulemusena saab öelda, et erinevate tasemete dokumentide alusel formuleeritud plaan $SAIDI$ vähendamiseks planeeritud mahus ei ole intensiivsel investeerimisperioodil realistlik. Põhiliseks uuringu poolt tuvastatud tulemuseks on investeeringute mõjul suurenev $SAIDI_{\text{plaaniline}}$, mis mõjutab omakorda olulises ulatuses $SAIDI_{\text{kogu}}$.

Ühtlasi leiti vastused uurimise eel püstitatud uurimisküsimustele, kus esmalt analüüsiti paljasjuhtme tehnoloogiat ning selle sobivust $SAIDI$ vähendamise eesmärgi täitmiseks. Uuringu vahetulemusena võib kinnitada, et kaetud juhtme tehnoloogia on suurima efektiga meede $SAIDI$ vähendamiseks ning seetõttu selliseks eesmärgiks enim sobiv.

Teise olulise ülesandena arvatati välja kogu jaotusvõrgu *SAIDI* muutus, mis toimub kaetud juhtme projektide elluviimisel vastavalt investeeringuplaanidele. Tulemused on ära toodud joonisel 3.6 kust lähtub oluline vastuolu plaanide ja uuringus tõestatud tegeliku stsenaariumi vahel.



Joonis 3.6. Planeeritava ja uuringu tulemusena saadud *SAIDI*_{plaaniline} andmed. [6]

Lisaks toodi välja *SAIDI*_{plaaniline} ja *SAIDI*_{rikkeline} vahelist osakaal kaetud juhtme investeeringuprojektide elluviimisel ning koos eelnevate vastustega anti vajalik sisend täitmaks uurimistöö põhieesmärki.

3.9. Järeldused ja soovitused

Uuringu tulemusena võib välja tuua järgnevad tähelepanekud ja soovitused:

1. Investeerimisperioodil tuleb kaetud juhtme paigaldamisel arvestada olulise plaanilise *SAIDI* suurenemisega. Iga jaotusvõrgu liinil toimuv töö, sealhulgas uue liini paigaldus, olemasoleva rekonstrueerimine jne, põhjustab liinil katkestuse, mis on töökindlusnäitajate, sh *SAIDI*_{plaaniline}, valemi põhiline muutuja. Hetkel kasutusel olev kaetud juhtme paigaldamise tehnoloogia on olemuselt traditsiooniline, st liini

rekonstrueerimisel tuleb liin välja lülitada, mis omakorda põhjustab ajaliselt pikki katkestusi.

2. Olulise meetmena plaaniliste katkestuste lühendamiseks on investeerimisprojektide parem läbimõeldus nii tehnilise lahenduse poolest kui ka tööde organiseerimise osas, kusjuures viimane peab arvestama parimaid võimalusi elektrivõrgu opereerimise poolelt, eesmärgiga jällegi vähendada katkestuste pikkust ja arvu.
3. Investeeringuprojektide paremat läbimõeldust saab tagada juhul, kui on hea ja paindlik koostöö kõikide projekte elluviivate osapoolte poolt. Sellisteks osapoolteks on tellija, esindatuna valdkonniti, sh planeerimine jne, ehitaja ja projekteerija.
4. Varagrupi plaanides ei ole näha mõne teise varagrupi lähiaastate investeeringumahtude vähenemist. Süvenemata kõikide varagruppide haldamise ja arendamise problemaatikasse, võib eeldada, et varade arendamine ja haldamine on tasakaalustatud eesmärgiga tagada varagruppide ühtlane tase. Sellistel eeldustel ei ole võimalik $SAIDI_{\text{plaanilise}}$ suurenemist kompenseerida teiste varagruppide arvelt.
5. Strateegiliste eesmärkide kujundamisel tuleb arvestada $SAIDI_{\text{kogu}}$ suurenemisega investeerimisperioodil. Põhimõtteliselt ei ole võimalik üheaegselt teostada suuremahulisi investeeringuid, st rekonstrueerida ja ehitada liinivõrku, ja tagada $SAIDI_{\text{kogu}}$, rääkimata $SAIDI_{\text{plaaniline}}$, vähenemist.
6. Eraldi teemana seadusandjale väärib kaalumist töökindlusnäitajate, nagu $SAIDI$, $SAIFI$ ja $CAIDI$, nõutavate määrade diferentseerimist varustuskindluse piirkondade lõikes.
7. Selleks, et täita 2030. aasta eesmärk $SAIDI$ 90 minutit ühe tarbimiskoha kohta, tuleb kinni pidada varahaldusplaanides seatud sihteesmärkidest, mis tähendab investeerimist vastavalt plaanidele.
8. Kriitiliselt tuleb üle vaadata pilootprojektide tulemused ning saadud teave. Viimaseid võimalusel kasutades tuleb töötada läbi erinevad investeeringuprojektide elluviimise stsenaariumid vältimaks vigu, mida tehti pilootprojektide elluviimisel. Arvestama peab mastaabi erinevust pilootprojektide ja kogu võrgu investeerimistegevuse vahel. Pilootprojektis esinenud ja tuvastamata

viga võimendub kogu võrgus suurusjärkude võrra ning arvestades pilootprojektidega läbi tehtud juhtumite vähest arvu, siis on ilmne, et suurem projektide arv genereerib uusi, pilootprojektides mitteesinevad probleeme.

9. Süüvides sügavamalt elektrienergia kvaliteedile kehtestatud nõuete esitamise põhjustesse, näeme eelkõige tarbijat tema ootuste, soovide ja nägemusega, mis muidugi ajas suurenevad. Tarbijad kujundavad ja seejärel paigutavad oma ootused ja soovid nn hinna-kvaliteedi suhte teljele. Kaheldamatult ei ole mõistlik investeerida põhjendamatuid summasid selleks, et tagada 100%-line varustuskindlus. Seda ei ole tarbijad ise nõus kinni maksma. Võttes arvesse eelnevaid väiteid, võib öelda, et teatud ulatuses on tarbijate valulävi varustuskindluse osas paindlik. Kuna investeerimine paratamatult põhjustab tarbijatele ebamugavusi, siis on mõistlik selliseid ebamugavusi leevendada muude, nõrgete meetmetega, näiteks väga hea kommunikatsiooniga.

KOKKUVÕTE

Uurimistöö teemal „Võrguteenuse kvaliteedi analüüs keskpinge elektrivõrgus“ on koostatud eesmärgiga analüüsida keskpinge jaotusvõrgu teenuse kvaliteedi tõstmise plaani universaalsete ja standardiseeritud näitajate kaudu. Kitsamalt vaadeldi varustuskindluse näitaja $SAIDI_{kogu}$ ja selle osakomponendi $SAIDI_{plaaniline}$, kui ühe kõige paremini võrguteenuse osutamise kvaliteeti iseloomustava näitaja, muutust sõltuvalt investeerimistegevusest.

Investeerimistegevustest omakorda võeti vaatluse alla ainult need investeeringuprojektid, mis on tunnistatud efektiivseimaks meetmeks võrguteenuse kvaliteedi tõstmisel – keskpinge jaotusvõrgu puhul on selleks paljasjuhtme asendamine kaetud juhtmega.

Võrguteenuse kvaliteedi küsimused on aktualiseerunud tulenevalt tarbijate suurenenud ootustest, mis on omakorda toetatud seadusandja poolt kehtestatud regulatsioonidega. Võrguettevõtjad on sunnitud regulatsioonide täitmiseks võtma kasutusele uusi tehnoloogiaid, mille elluviimise ja opereerimise kohta puudub usaldusväärne statistiline andmestik ning kogemuslikud praktikad. Sellises olukorras on vajalik viia läbi erinevaid uuringuid erinevate vaatenurkade alt, eesmärgiga tuvastada võimalikke riske ning muuta ka vastavad elluviimisplaanid realistlikumaks. Laiapõhjaline huvigruppide, kuhu kuuluvad muuhulgas nii elektrivõrgu tarbijad kui eelkõige jaotusvõrgu ettevõtted, vajadus ja huvi on käesoleva uurimistöö põhiline põhjendus.

Uurimistöö tulemusena tuvastati ja demonstreeriti varustuskindluse näitaja $SAIDI$ liiga optimistlik planeerimine intensiivsel investeerimisperioodil, mis ei arvesta investeerimistegevuse tegelikult suuremat mõju kui varustuskindluse plaanides oli ettenähtud.

Järeldused on kokkuvõtvalt järgmised:

1. Kaetud juhtme paigaldamisel tuleb investeerimisperioodil arvestada olulise $SAIDI_{plaanilise}$ suurenemisega.

2. Investeeringuprojekte peab ettevalmistama läbimõeldumalt.
3. Investeeringuprojekte implementeerides tuleb oluliselt parendada osapoolte koostööd.
4. *SAIDI*_{plaanilise} suurenemist ei ole võimalik kompenseerida teiste varagruppide arvelt.
5. Strateegiliste eesmärkide kujundamisel tuleb arvestada *SAIDI*_{kogu} suurenemisega investeerimisperioodil.
6. Varustuskindluse nõuded tuleks diferentseerida varustuskindluse piirkondade lõikes.
7. Selleks, et täita 2030. aasta eesmärk *SAIDI* 90 minutit ühe tarbimiskoha kohta, tuleb kinni pidada varahaldusplaanides seatud sihteesmärkidest.
8. Kriitiliselt tuleb üle vaadata pilootprojektide tulemused ning saadud teave ning vastavale teabele tuginedes tuleb läbi töötada erinevad investeeringuprojektide elluviimise stsenaariumid.
9. Investeerimisel tekkivaid ebamugavusi tarbijatele on mõistlik leevendada muuhulgas nõ pehmete meetmetega, näiteks väga hea kommunikatsiooniga.

Uurimistöö koostamisel kasutatud algmaterjali süstematiseeritud kogumine, selekteerimine ja hilisem analüüsimine annab jaotusvõrgu ettevõttele teaduslikult põhjendatud suunised vajaliku informatsiooni ja andmete osas, mida on vaja analüüsida, tegemaks täpsemaid prognoose varustuskindluse eesmärkide seadmisel ning investeeringute mõju hindamisel varustuskindlusele.

KIRJANDUSE LOETELU

- [1] Elektriturseadus, RT I 2003, 25, 153. (2003), Riigi Teataja, [veebileht] <https://www.riigiteataja.ee/akt/113032019045?leiaKehtiv> (20.04.2019).
- [2] Eesti Majanduse- ja kommunikatsiooniministeerium, Energiamaajanduse arengukava aastani 2030. (2017), Tallinn: Eesti Majanduse- ja kommunikatsiooniministeerium [veebileht] <https://www.mkm.ee/et/arengukavad> (1.03.2019).
- [3] H. Spitzer ja M. Hopfensitz, Analysis of investment budget for quality target "SAIDItotal 90 by 2030". (2017), [veebileht] https://www.elektrilevi.ee/-/doc/6305157/ettevottest/uuringud/SAIDIkogu_90aastaks_2030_eelarve_analuus.pdf (2.03.2019).
- [4] Elektrilevi OÜ, Võrguteenuse hind, [veebileht] <https://www.elektrilevi.ee/hind> (1.03.2019).
- [5] Võrguteenuste kvaliteedinõuded ja võrgutasude vähendamise tingimused kvaliteedinõuete rikkumise korral, RTL 2005, 41, 582, Riigi Teataja, [veebileht] <https://www.riigiteataja.ee/akt/1039867?leiaKehtiv> (20.03.2019), 2005.
- [6] Elektrilevi OÜ, Elektrilevi OÜ statistilised andmed (2019).
- [7] Elektrilevi OÜ, J3337 Planeerimise põhimõtted. (2018), [veebileht] <https://www8.energia.ee/public/ee043.nsf/b5c70e1888b8a801c2256e4e002ca8dc/1afab05a8fa519dac22583120041a9d9?OpenDocument> (20.03.2019).
- [8] Keskpinge kaetud juhtme rikkestatistika Elektrilevi võrgus. (2018), Elektrilevi OÜ.
- [9] Keskpinge varagrupi strateegia kuni 2030. (2018), Elektrilevi OÜ.
- [10] The Council of European Energy Regulators, CEER Benchmarking Report 6.1 on the Continuity of Electricity and Gas Supply. (2017)., Brussels: [veebileht] <https://www.ceer.eu/documents/104400/-/-/963153e6-2f42-78eb-22a4-06f1552dd34c> (1.03.2019).

- [11] I. Palu, P. Raesaar ja J. Valtin, SAIDikogu 90 minutit tagava eelarve analüüs. Uurimustöö LEP17034 lõpparuanne. (2017), Tallinn: Tallinna Tehnikaülikool, [veebileht] <https://www.elektrilevi.ee/et/uuringud-ja-analuusid> (20.03.2019).
- [12] R. Peeter, Ivo Palu , Juhan Valtin , Karl Kull ja Tarmo Trummal , Jaotusvõrgu tasakaalustatud varustuskindluse tase ühiskondliku kogutoodangu alusel. Uurimustöö LEP18003 lõpparuanne. (2018), Tallinn: Tallinna Tehnikaülikool, [veebileht] <https://www.elektrilevi.ee/et/uuringud-ja-analuusid> (15.03.2019).
- [13] Elektrilevi OÜ, J3301 20kV õhuliinide täpsustavad nõuded projekteerimiseks. (2018), [veebileht] <https://www8.energia.ee/public/ee043.nsf/b5c70e1888b8a801c2256e4e002ca8dc/0e048eeb56ee5e29c2257a69002ff64e?OpenDocument> (2.03.2019).
- [14] Nexans, AS, BLL 24kV covered conductor, [veebileht] https://www.nexans.no/eservice/Norway-en/navigate_333048/BLL_24_kV_covered_conductors.html#description (04.03.2019).
- [15] P. Heine, J. Pitkänen ja M. Lehtonen, Voltage sag characteristics of covered conductor feeders. (2003), Helsinki: Helsinki University of Technology.
- [16] W. Panosch, K. Schongrundner ja K. Kominek, 20 kV overhead lines with covered conductors. (2001), Amsterdam, Netherlands: IET.
- [17] Elektrilevi OÜ, Varahaldusplaan 2018 - 2022. (2018).

LISAD

Lisa 1. LIHTLITSENTS

Lihtlitsents lõputöö salvestamiseks ja üldsusele kättesaadavaks tegemiseks ning juhendaja(te) kinnitus lõputöö kaitsmisele lubamise kohta

Mina, _____ Evelin Prüüs _____,
(*autori nimi*)
sünniaeg _____ 29.01.1984 _____,

1. annan Eesti Maaülikoolile tasuta loa (lihtlitsentsi) enda koostatud lõputöö
„Võrguteenuse kvaliteedi analüüs keskpinge elektrivõrgus“

(*lõputöö pealkiri*)

mille juhendaja(d) on _____ Eugen Kokin _____,
(*juhendaja(te) nimi*)

- 1.1. salvestamiseks säilitamise eesmärgil,
- 1.2. digiarhiivi DSpace lisamiseks ja
- 1.3. veebikeskkonnas üldsusele kättesaadavaks tegemiseks

kuni autoriõiguse kehtivuse tähtaja lõppemiseni;

- 2. olen teadlik, et punktis 1 nimetatud õigused jäävad alles ka autorile;
- 3. kinnitan, et lihtlitsentsi andmisega ei rikuta teiste isikute intellektuaalomandi ega isikuandmete kaitse seadusest tulenevaid õigusi.

Lõputöö autor _____
(*allkiri*)

Tartu, _____
(*kuupäev*)

Juhendaja(te) kinnitus lõputöö kaitsmisele lubamise kohta

Luban lõputöö kaitsmisele.

_____ Eugen Kokin _____
(*juhendaja nimi ja allkiri*) (*kuupäev*)